

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Varný spotřebič spalující tuhá paliva
Residential Cooker Fired by Solid Fuels

Student:

Bc. Jan Bortlíček

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Kubesa

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Bortlíček**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Varný spotřebič spalující tuhá paliva**
Residential Cooker Fired by Solid Fuels
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Součástí diplomové práce bude:

- 1) Popis spalování dřeva v ohništi malého výkonu a používaných typů lokálních spotřebičů spalujících tuhá paliva.
- 2) Rešerše metodických přístupů k testování lokálních spotřebičů včetně legislativních požadavků.
- 3) Popis topeniště vybraného varného spotřebiče pro spalování kusového dřeva a dřevěných briket a popis odvodu spalin. Součástí bude výpočet statiky spalování pro předpokládaný jmenovitý výkon spotřebiče a doporučená paliva.
- 4) Návrh a příprava experimentálního stanoviště pro spalovací zkoušky. Sestavný výkres stanoviště včetně varného spotřebiče se zakotovením hlavních rozměrů. Výrobní výkres roštu.
- 5) Ověření varného spotřebiče ve zkušebně. Vyhodnocení výsledků ve vztahu k platné legislativě.
- 6) Experimentální stanovení průběhu tepelného výkonu varného spotřebiče v kalorimetrické komoře při nuceném a přirozeném tahu. Stanovení vlivu přirozeného a nuceného tahu na průběh provozních parametrů.

Seznam doporučené odborné literatury:


BRANC, Michal. Studium procesu hoření dřeva. Ostrava, 2010. Disertační práce. VŠB-TUO.
COMMISSION REGULATION (EU) 2015/1185 of 24 April 2015 implementing Directive 2009/125/EC.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Kubesa**

Datum zadání: 31.10.2015
Datum odevzdání: 16.05.2016




prof. Ing. Dagmar Jučelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2016

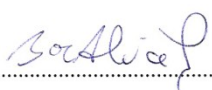
.....


Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16.5.2016



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jan Bortlíček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dobruška 64, okr. Frýdek-Místek

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Petru Kubesovi, který mě svými radami, praktickými zkušenostmi a připomínkami vedl při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě KVS MORAVIA, za propůjčení varného spotřebiče.

Anotace diplomové práce

BORTLÍČEK, J. *Varný spotřebič spalující tuhá paliva: diplomová práce*. OSTRAVA: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2016, 92 s. Vedoucí práce: Ing. Petr Kubesa.

Diplomová práce je rozdělena do čtyř základních částí. První část obsahuje popis spalování dřeva v ohništi malého výkonu, typy lokálních spotřebičů spalujících tuhá paliva a rešerši metodických přístupů k testování lokálních spotřebičů včetně popisu legislativních požadavků. Druhá část se zabývá popisem topeniště varného spotřebiče, dodaného firmou KVS MORAVIA, návrhem a přípravou experimentálního stanoviště pro spalovací zkoušky. Součástí návrhu je sestavný výkres stanoviště včetně varného spotřebiče a výrobní výkres roštu. V další části diplomové práce, je varný spotřebič podroben experimentálnímu zkoušení ve zkušebně Výzkumného energetického centra v Ostravě. V poslední části je proveden výpočet statiky spalování pro doporučené palivo a výpočet, potřebný pro stanovení základních parametrů varného spotřebiče.

Klíčová slova: Varný spotřebič; spalování; emise.

BORTLÍČEK, J. *Residential Cooker Fired by Solid Fuels: diploma thesis*. OSTRAVA: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energetic, 2016, 92 p. Thesis head: Ing. Petr Kubesa.

Diploma thesis is divided to four basic parts. The first part contains a description of fired wood in the low powered fireplace, type of local appliance scorching solid fuels and searches of the metodical stance for testing local appliances including an describion of legislative requirement. The second part is interested in description of hearth cooking appliance, sent by KVS MORAVIA company, design and preparation of the experimental station for the combustion tests. Assembly drawing of the station including cooking appliance and generated drawing of a grid is part of my proposal. In the next part is a residential cooker which is experimentaly tested in the test room of The Energy Research Center of Ostrava. There is a calculation of static of the scorching for recomended fuel and calculation which is needed to assess the basic parameters of residential cooker made in the last part.

Key words: Residential Cooker; combustion; emissions.

Obsah

1	Úvod	6
2	Spalování dřeva	7
2.1	Dřevo jako palivo	7
2.2	Hořlavina	8
2.3	Popelovina	8
2.4	Voda v palivu	8
2.5	Spalovací proces v ohništi	9
3	Lokální spotřebiče na tuhá paliva	11
3.1.1	Otevřené krby	11
3.1.2	Kachlová kamna	12
3.1.3	Krbová kamna	13
3.1.4	Peletová kamna	14
3.1.5	Sporáky	15
3.1.6	Individuálně stavěné sporáky	15
4	Metodické přístupy k testování lokálních spotřebičů	17
4.1	Zkoušení varného spotřebiče pro domácnost na pevná paliva podle normy ČSN EN 12815:2002 a změny A1:2005	18
4.2	Testování lokálních spotřebičů podle norské metodiky	19
4.3	Testování lokálních spotřebičů podle standardů EPA	21
4.4	Australsko-novozélandská metoda testování lokálních spotřebičů	23
4.5	Legislativní požadavky vztahující se na lokální spotřebiče	24
5	Experimentální zkoušení varného spotřebiče	30
5.1	Úvod	30
5.2	Testovaný spotřebič	32
5.3	Zkouška provozních vlastností při jmenovitém tepelném výkonu	37

5.3.1	Návrh a příprava experimentálního stanoviště	37
5.3.2	Použité přístroje a zařízení	38
5.3.3	První zkoušky a optimalizace nastavení sporáku pro zkoušky jmenovitého výkonu	42
5.3.4	Zkoušení sporáku s použitím dřevěných briket	46
5.3.5	Zkoušení sporáku s použitím bukového dřeva	51
5.4	Porovnání dřevěných briket a bukového dřeva při zkouškách jmenovitého výkonu	58
5.5	Zkoušení varného spotřebiče v kalorimetrické komoře	60
5.5.1	Příprava experimentálního stanoviště	61
5.5.2	Zkoušení sporáku při nuceném tahu	63
5.5.3	Zkoušení sporáku při přirozeném tahu	67
5.6	Porovnání výsledků zkoušení při nuceném a přirozeném tahu v kalorimetrické komoře	71
6	Výpočty	76
6.1	Výpočet statiky spalování	76
	Spalovací rovnice	76
	Teoretické množství kyslíku pro spálení 1kg paliva	76
	Teoretické množství suchého vzduchu pro spálení 1kg paliva	77
	Množství vody ve spalinách	78
	Množství vzniklých teoretických vlhkých spalin	78
6.2	Detailní výpočet dle normy ČSN EN 12 815	79
	Poměrné ztráty plnynným nedopalem	81
	Poměrné ztráty mechanickým nedopalem	81
	Stanovení účinnosti	82
	Celkový tepelný výkon	82
	Hmotnostní průtok vlhkých spalin	82
	Příkon varného spotřebiče	82

Výpočet koncentrace prachu	83
7 Závěr.....	88
8 Přílohy	90
9 Použitá literatura.....	91

Seznam použitých značek a symbolů

Označení	Název	Jednotka
A	popelovina v palivu	[1]
B	hmotnostní tok paliva	[kg/hod]
C	hmotnostní podíl uhlíku v palivu	[%]
CO	koncentrace oxidu uhelnatého	[ppm]
CO ₂	koncentrace oxidu uhličitého ve spalínách	[ppm]
c _{pmH₂O}	střední měrná tepelná kapacita vodní páry	[kJ/(kg×K)]
c _{pmd}	střední měrná tepelná kapacita suchých spalín	[kJ/(kg×K)]
c _r	redukovaný hmotnostní podíl uhlíku	[%]
H	hmotnostní podíl vodíku v palivu	[%]
h	hořlavina v palivu	[1]
h _a	délka zkoušky	[hod]
\dot{m}	hmotnostní průtok vlhkých spalín	[g/s]
N	hmotnostní podíl dusíku v palivu	[1]
NO _x	koncentrace oxidu dusíku ve spalínách	[ppm]
n	přebytek vzduchu	[1]
O ₂	hmotnostní podíl kyslíku v palivu	[1]
O _{2,prum}	průměrná koncentrace kyslíku ve spalínách	[%]
O _{2,ref}	referenční obsah kyslíku	[%]
P	tepelný výkon	[kW]
P _{PŘ}	příkon	[kW]
Q	výhřevnost paliva	[1]
Q _a	ztráty citelným teplem spalín	[kJ/kg]
Q _b	ztráty plynným nedopalem	[kJ/kg]
Q _r	ztráty mechanickým nedopalem	[kJ/kg]
q _a	poměrná ztráta citelným teplem spalín	[%]
q _b	poměrná ztráta plynným nedopalem	[%]
q _r	poměrná ztráta mechanickým nedopalem	[%]
r	navážka	[mg]
S	hmotnostní podíl síry v palivu	[1]
TOC	koncentrace uhlovodíků ve spalínách	[ppm]
TZL	tuhé znečišťující látky	[ppm]
t _a	teplota spalín	[°C]
t _r	teplota v místnosti	[°C]
\dot{V}	objem suchých spalín	[m ³ _N]
V _{O₂,t}	teoretické množství kyslíku	[m ³ _N /kg _{pal}]
V ^S _{VZ,t}	teoretické množství suchého vzduchu	[m ³ _N /kg _{pal}]
V ^V _{VZ,t}	teoretické množství vlhkého vzduchu	[m ³ _N /kg _{pal}]
V _{H₂O}	objem vzniklé vodní páry	[m ³ _N /kg _{pal}]
V ^S _{SP,t}	teoretické množství suchých spalín	[m ³ _N /kg _{pal}]

Označení	Název	Jednotka
$V_{SP,t}^V$	teoretické množství vlhkých spalin	$[m^3_N/kg_{pal}]$
V_{SP}^S	množství vzniklých suchých spalin	$[m^3_N/kg_{pal}]$
V_{SP}^V	množství vzniklých vlhkých spalin	$[m^3_N/kg_{pal}]$
W	hmotnostní podíl vody v palivu	$[1]$
η	účinnost zařízení	$[1]$
ν	součinitel zvětšení objemu vlhkého vzduchu	$[1]$
ρ	hustota plynu	$[kg/m^3]$

1 Úvod

V dnešní moderní době je stále větší zájem o vytápění obydlí biomasou. Jedná se především o kusové dřevo, které je v našich klimatických podmínkách nejen snadno dostupné, ale také za poměrně přijatelnou cenu, oproti jiným typům vytápění (plyn, elektřina). Krby, kamna nebo sporáky dokážou do domácností přinést takovou tepelnou pohodu, kterou nedokážou žádná jiná zařízení. Nevýhodou je především vznik znečišťujících látek, které při spalování tuhých paliv v těchto zařízeních vznikají. Proto se v jednotlivých státech Evropské unie postupně zavádí zpřísnující požadavky na emise a účinnost zařízení.

Hlavním cílem mé diplomové práce je ověření varného spotřebiče ve zkušebně Výzkumného energetického centra, dle normy ČSN 12815:2002 a změny A1:2005 při zkoušce provozních vlastností při jmenovitém tepelném výkonu. Výsledky zkoušek následně vyhodnotím ve vztahu k platným legislativám nejen v České republice, ale také některých států Evropské unie (Rakousko, Německo), kde legislativní požadavky na lokální spotřebiče jsou jedny z nejprísnejších. Kromě základních požadavků, kterými jsou minimální účinnost a koncentrace oxidu uhelnatého ve spalinách při referenčním obsahu kyslíku 13 %, kladou tyto státy navíc požadavky na prach (TZL), uhlovodíky (TOC) a oxidy dusíku (NO_x).

Nakonec ověřím varný spotřebič v kalorimetrické komoře, kde budu sledovat průběh tepelného výkonu při nuceném a poté při přirozeném tahu. Nucený tah bude vyvoláván odtahovým ventilátorem, který bude simulovat ideální podmínky provozování, které se při běžném provozu v domácnostech jen těžko dosahují. U zkoušení při přirozeném tahu se digestoř nastaví tak, aby odsávání spalin neovlivňovalo tah komína a byly dodrženy skutečné provozní podmínky.

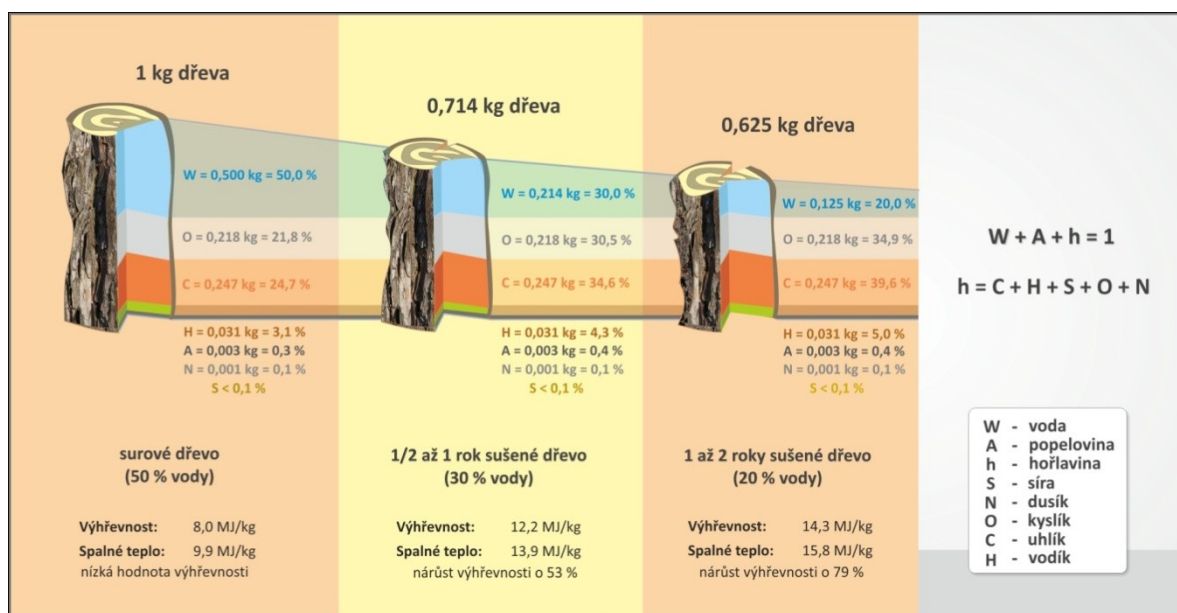
2 Spalování dřeva

2.1 Dřevo jako palivo

Dřevo je nestarším zdrojem energie, které již po tisíciletí lidstvo využívá. V dnešní moderní době je neustálý rozvoj nových zdrojů, které nabízí uživatelům vysoký komfort a dřevo se hojně využívá jako přírodní materiál např. ve stavebnictví při výrobě srubových domů, nábytků. V posledních letech se navíc začalo diskutovat o vyčerpatelnosti fosilních zdrojů energie a ochraně životního prostředí, čímž dřevu jako palivu vzrostl význam. Jedná se totiž o obnovitelný zdroj energie s minimálními energetickými nároky, což má příznivý vliv na životní prostředí. V našich klimatických podmínkách je navíc hojně vyskytované a snadno dostupné. Hmotové složení tuhých paliv (Obr. 1) vychází z definice tří základních složek hořlaviny (h), popeloviny (A) a vody (W).

$$h + A + W = 1 \quad [1] \quad (1)$$

Tyto tři složky představují v plné míře palivo [12]. Energetická hodnota je nejdůležitějším údajem paliva. Jedná se o množství energie, které se uvolní spálením jednoho kilogramu paliva. Jediným nositelem energie a zároveň aktivní složkou v palivu je hořlavina. Voda a popelovina jsou pasivními složkami a energetickou hodnotu paliva snižují.



Obr. 1- Schéma složení dřeva během sušení [31]

2.2 Hořlavina

Hořlavina, jakožto nositel energie, představuje nejvýznamnější složku paliva. Prvkovým rozbořem lze zjistit, z čeho je složena (Obr. 1).

$$C^h + H^h + S^h + N^h + O^h = h \quad [1] \quad (2)$$

Z rovnice (2) lze vyčíst, že hořlavina je složena z uhlíku (C), vodíku (H), síry (S), dusíku (N) a kyslíku (O). Nositeli chemicky vázané energie paliva, která se při spalování uvolňuje, jsou pouze uhlík, vodík a síra. Jedná se tedy o aktivní prvky hořlaviny. Protože dusík a kyslík nepřinášejí žádnou energetickou hodnotu, jsou složkami pasivními.

Zaměříme-li se na chování hořlaviny v průběhu spalovacího procesu, pak zjistíme, že se její část při zahřátí paliva uvolňuje ve formě hořlavých plynů a zbytek dohořívá v podobě fixního uhlíku [12]. Z tohoto zjištění lze hořlavinu rozdělit na dvě části, zvané prchavá hořlavina a tuhý uhlík. Prchavá hořlavina (index „daf“), je významným parametrem tuhých paliv, neboť zásadním způsobem ovlivňuje fázi zapálení paliva. Obsah závisí na geologickém stáří paliva. Čím starší palivo je (antracit), tím nižší má obsah prchavé hořlaviny a hůř se zapaluje. Obsah prchavé hořlaviny u dřevní hmoty je velmi vysoký a přesahuje až 85 %, proto je tak snadné dřevo zapálit.

Po uvolnění prchavé hořlaviny z dřevní hmoty zůstává na roštu ležet v tuhé fázi fixní uhlík, který postupně dohořívá.

2.3 Popelovina

Popelovina je směs chemicky vázaných minerálů (sulfidů, sulfátů, jílových materiálů). V průběhu spalovacího procesu probíhají v popelovině chemické reakce a vzniká zcela nová látka, zvaná popel. Obsah popeloviny je u dřeva velmi nízký a většinou nepřekročí 1 % hmoty. Při spalování dřeva v ohništích malých výkonů, nepředstavuje popel významný parametr. [12]

2.4 Voda v palivu

Voda je významnou složkou vyskytující se v dřevní hmotě [12]. Na rozdíl od hořlaviny je voda pasivní složkou a energeticky dřevo znehodnocuje. Čerstvě poražený strom může obsahovat i přes 50 % vody, proto je důležité dřevo sušit a tím zvyšovat jeho

energetický obsah. Optimální doba sušení je jeden až dva roky. Na Obr. 1 zle vidět změnu ve složení a výhřevnosti dřeva během dvou let sušení. Voda při spalování zvětšuje objem spalin a také narůstá komínová ztráta, zároveň snižuje spalovací teplotu. Při zvýšené vlhkosti spalin se zvyšuje rosný bod spalin a může docházet ke korozi teplosměnných ploch na konci kotle.

2.5 Spalovací proces v ohništi

Spalovací proces kusové dřeva v ohništi má cyklický charakter. Cyklus začíná nově přiloženou dávkou paliva na rošt s dohořívajícími zbytky předchozí dávky a je ukončen dohoříváním tuhých zbytků na roštu. Každý cyklus prochází několika fázemi spalovacího procesu [12]:

- ohřev dřeva a vypařování vody;
- uvolnění a zapálení prchavé hořlaviny;
- hoření dřeva;
- dohořívání zbytkového uhlíku.

Úvodní a jako jedinou energeticky negativní fází, protože ke svému průběhu spotřebovává teplo z ohniště, je fáze ohřevu dřeva a vypařování vody. Zásadním parametrem v této fázi je vlhkost přikládaného dřeva. Čím vyšší je obsah vody v palivu, tím více tepla bude potřeba k jejímu odpaření a tím výrazněji se sníží teplota v ohništi. Tato fáze navíc není závislá na přívodu spalovacího vzduchu, protože při ní neprobíhá spalovací reakce.

Další fází je uvolnění a zapálení prchavé hořlaviny. Z dřevní hmoty se přibližně při teplotě 160 °C začínají uvolňovat hořlavé plynné složky tvořené uhlíkem, vodíkem a z části také kyslíkem. Tyto plynné složky se snadno zapalují a vyvolávají tak vznik plamene. Tímto se zahájí řetězová reakce hoření, při které se uvolňuje prchavá hořlavina a spalovací reakce se rozbíhá k vyšší teplotě a rychlosti. Při této fázi je nutný přívod spalovacího vzduchu, pro rozvoj spalovací reakce. [12]

Následuje fáze hoření dřeva, kde je již dřevo zapálené. Přívod spalovacího vzduchu je zapotřebí přivádět do těžiště hoření, které se nachází ve vrstvě paliva. Spalování tuhých paliv probíhá vždy postupně. Začíná heterogenní reakcí tuhé fáze s plynným oxidantem, kde výsledkem reakce je hořlavý plyn. Následuje homogenní reakce (reagenty jsou ve stejné fázi), hoření uvolněných plynů. Hořlavé plyny expandující

v horkém ohništi potřebují ke svému dokonalému vyhoření dostatečně vysokou teplotu, čas a kyslík. [12]

Závěrečná fáze je dohořívání zbytkového uhlíku. Jedná se o uhlík, který se nestihl spálit a žhne ve vrstvě popela na roštu. Proudící spalovací vzduch sice přivádí potřebný kyslík k uhlíku, ale také snižuje teplotu v ohništi. V této fázi již není potřeba spalovacího vzduchu tolik, jako např. u fáze hoření dřeva.

3 Lokální spotřebiče na tuhá paliva

Lokální spotřebič je zařízení, primárně určené k vytápění místnosti, ve které je umístěno, případně k vaření, jedná-li se o varný spotřebič (sporák). Tyto spotřebiče se rozdělují do několika kategorií:

- otevřené krby;
- spotřebič na pevná paliva k vytápění obytných prostorů - krbová kamna;
- varný spotřebič pro domácnost na pevná paliva - sporáky;
- vestavné spotřebiče k vytápění - krbové vložky;
- akumulční kamna na pevná paliva;
- spotřebič spalující dřevěné pelety k vytápění obytných prostorů – peletová kamna;
- individuálně stavěná kachlová kamna;
- individuálně stavěné sporáky.

3.1.1 Otevřené krby

Otevřené krby (Obr. 2) jsou historicky nejstarším způsobem vytápění. Nacházely se již na starých hradech a zámcích a v dnešní době se instalují v moderních stavbách. Ohniště napojené přímo na komín, zajišťuje spolehlivý odvod spalin. Tepelný výkon je dán velikostí ohniště a množstvím použitého dřeva. Nevýhodou otevřeného krbu je jeho účinnost, nepřesahující hranici deseti procent. Je to dáno především velmi vysokou komínovou ztrátou, způsobenou velkým množstvím spalin (nelze regulovat množství spalovacího vzduchu), odcházejících při vysoké teplotě komínem do ovzduší. Výhodou je bezprostřednost plamenů a praskajících polen. [12]



Obr. 2 - Otevřený krb [13]

3.1.2 Kachlová kamna

Po krbu jsou kachlová kamna (Obr. 3) druhým nejstarším způsobem vytápění. Kachlová kamna se liší hmotností, výkonem, velikostí povrchu, způsobem odevzdávání tepla do místnosti, zapojením do otopné soustavy, tím, kudy přikládat do ohniště (z místnosti, mimo místnost), a postupem, jakým se postaví [14].

Výhodou je velká možnost akumulace tepla, která je dána masivní konstrukcí z keramických materiálů o vysoké tepelné kapacitě a několika kouřovými tahy. Čím více jsou kamna vyhřátá, tím méně tepla jsou schopny ze spalin přijmout. Proto je neefektivní topit ve vyhřátých kamnech, neboť většina tepla poté odchází spalinami do komína a narůstá tak komínová ztráta. Principem jsou určena k cyklickému spalování (perioda přikládání např. co 8 hodin). Aby výdej naakumulovaného tepla do místnosti byl co nejdelší, nesmí být vnitřní prostor kamen, poté co palivo dohořelo, vychlazován proudícím vzduchem [12].



Obr. 3 – Kachlová kamna [28]

3.1.3 Krbová kamna

Krbová kamna (Obr. 4) jsou v dnešní době jedním z nejrozšířenějších způsobů vytápění obydlí. Jsou malá, lehká, snadno přenosná (snadná instalace) a z podstatné části kovová. Protože kov má velmi malou schopnost akumulace tepla, krbová kamna se rychle zahřejí, ale také rychle vychladnou. Moderním řešením jsou krbová kamna s výměníkem (akumulační krbová kamna). Jedná se o možnost, kdy se kamna zapojí do okruhu s vodou (voda se využívá na pomocné vytápění), nebo jako samostatné vytápění (krbová vložka). Výhodou je také nižší pořizovací cena oproti kachlovým kamnům. Ta jsou i několikanásobně dražší a navíc je potřeba při instalaci náročných stavebních prací. Pokud jsou krbová kamna správně navržena a postavená, lze dosáhnout účinnosti až 85 %.



Obr. 4 – Krbová kamna [15]

3.1.4 Peletová kamna

Peletová kamna (Obr. 5) jsou vybavena zásobníkem na pelety a podavačem pelet. Protože zásobník pelet stačí naplnit jednou za několik hodin nebo dní (záleží na ročním období), jedná se o velice komfortní vytápění, téměř bez obsluhy. Některá peletová kamna jsou vybavena termoregulátorem, který dokáže vyhodnotit teplotu v místnosti a regulovat tak topný výkon kamen.



Obr. 5 – Peletová kamna [27]

3.1.5 Sporáky

Sporáky (Obr. 6) jsou určeny zejména k tepelné přípravě pokrmů nebo k vytápění prostoru, v němž jsou umístěny. Jedná se o spotřebič s ruční dodávkou paliva. Teplota plotny při vaření a teplota v troubě při pečení je regulovatelná množstvím přikládaného paliva a klapkami pro přívod vzduchu. V dnešní době se neumísťuje pouze na chaty a chalupy, kde je omezený přívod elektřiny a plynu, ale také do moderních příměstských domů. Na trhu lze nalézt variantu, kdy je sporák vybaven zabudovaným výměníkem. Tato varianta umožňuje nejen péct, vařit a ohřívat, ale také vytápět více než jednu místnost.



Obr. 6 – Sporák [30]

3.1.6 Individuálně stavěné sporáky

Individuálně stavěné sporáky (Obr. 7) bývají často označovány jako kuchyňská kamna. Nabízí stejné možnosti jako klasické sporáky (pečení, vaření) a navíc příjemně vytápí kuchyň společně s přilehlými prostory. Při realizaci si může každý zákazník upravit sporák podle vlastních představ. Proto je každý individuálně postavený sporák originálem funkcí i vzhledem. Tento typ sporáku lze používat jako jeden z hlavních zdrojů tepla při vytápění.



Obr. 7 – Individuálně stavěný sporák [29]

4 Metodické přístupy k testování lokálních spotřebičů

Veškeré lokální spotřebiče (kromě individuálně stavěných kamen a sporáků), které jsou nabízeny na evropský trh, musí splňovat jednu z evropských norem. V tabulce č. 1 jsou uvedeny typy lokálních spotřebičů a k nim číslo evropské normy používané při testování. Normy u individuálně stavěných kamen, individuálně stavěných sporáků a otevřených krbů, platí především pro navrhování a stavbu těchto spotřebičů.

Typ spotřebiče	Norma
Varné spotřebiče	ČSN EN 12815:2002 [1]
Krbová kamna	ČSN EN 13240:2002 [20]
Krbové vložky	ČSN EN 13229:2002 [21]
Akumulační kamna na pevná paliva	ČSN EN 15250:2007 [22]
Spotřebiče spalující dřevěné pelety	ČSN EN 14785:2007 [23]
Individuálně stavěná kamna	ČSN 734231 [24]
Individuálně stavěné sporáky	ČSN 734232 [25]
Otevřené krby	ČSN 734230 [32]

Tabulka 1- Typ spotřebiče a norma, dle které je spotřebič testován

Lokální spotřebiče, které jsou nabízeny na evropský trh, musí být opatřeny výrobním štítkem (neplatí pro individuálně stavěná kamna, individuálně stavěné sporáky a otevřené krby). Tento štítek se musí umístit na dobře viditelné místo a musí mít trvanlivé a nesmazatelné provedení. Na tomto štítku by měl každý uživatel nalézt tyto základní informace [2]:

- jméno výrobce zařízení nebo jeho obchodní značka;
- jmenovitý tepelný výkon spotřebiče pro konkrétní palivo v kW;
- koncentrace CO při 13% podílu kyslíku ve spalínách v procentech;
- maximální provozní tlak vody v ohřívači v barech (v případě, že je spotřebič vybaven ohřívačem);
- minimální bezpečné vzdálenosti od hořlavých materiálů v mm;
- číslo použité evropské normy při testování včetně uvedení změn.

Německo a Rakousko klade navíc na lokální spotřebiče vlastní zpřísnující limity. Jedná se zejména o emise prachu vypuštěných ze spalovacích zařízení.

Vlastní metodiku zkoušení má Norsko. Zde je hlavním cílem stanovení požadavků prachu.

Pokud chce výrobce nabízet svůj spotřebič na trhu ve Spojených státech

amerických, musí zařízení splňovat tzv. US EPA standardy (US EPA – United States Environmental Protection Agency).

Další metodikou zkoušení lokálních spotřebičů je australsko-novozélandská metoda. Ta se od ostatních zkušebních metod liší především tím, že testované zařízení je umístěno v tzv. tepelné místnosti.

4.1 Zkoušení varného spotřebiče pro domácnost na pevná paliva podle normy ČSN EN 12815:2002 a změny A1:2005

Zkušební varný spotřebič je instalován do zkušebního koutu, který je sestaven z podlahy, boční a zadní stěny. Jednotlivé stěny jsou na sebe navzájem kolmé a jsou opatřeny teplotními čidly, aby se během zkoušky měřilo oteplení stěn z důvodu bezpečnosti. Celý kout i s varným spotřebičem je uložen na váze s plošinou, aby bylo možné měřit váhový úbytek paliva během celého průběhu zkoušky. Následně je ke spotřebiči připojen měřicí úsek spalin. Jedná se o izolovaný komín o průměru 150, 200 nebo 300 mm (podle průměru hrdla kamen pro odvádění spalin) s odběrovými místy pro analýzu spalin, podtlaku v komíně a měření teploty spalin. Odsávané spaliny jsou řízeny ventilátorem tak, aby se v komíně udržoval konstantní požadovaný podtlak odpovídající příslušné zkoušce. Teplotní čidla se neumisťují pouze na stěny zkušebního koutu, ale také na ovládací prvky varného spotřebiče. Těmito čidly se ověřuje bezpečné oteplení ovládacích prvků.

Varný spotřebič je podroben několika zkouškám. Hlavní zkouškou je zkouška provozních vlastností varného spotřebiče při jmenovitém výkonu. Během této zkoušky se ověřují základní provozní vlastnosti varného spotřebiče – tj. výkon, účinnost, doba hoření a základní složení spalin (O_2 , CO a CO_2). Na trhu lze narazit na spotřebiče s krátkodobým spalovacím procesem, nebo s dlouhodobým spalovacím procesem. Jestliže se jedná o kamna s krátkodobým spalovacím procesem, musí přiložená dávka paliva zajistit hoření minimálně po dobu deklarovanou výrobcem nebo stanovenou v normě.

Norma ČSN EN 12 815:2002 [1] pracuje s těmito druhy paliv:

- dřevo o předepsané energetické vlhkosti $16 \pm 4 \%$ (buk, habr, bříza);
- pevné minerální palivo (antracit, koks, brikety z hnědého uhlí aj.).

Při spalování dřevem, nebo pevným minerálním palivem, musí být minimální doba hoření šedesát minut. Dalším požadavkem normy je, že při zkoušce provozních vlastností,

při jmenovitém výkonu, nesmí být naměřena průměrná koncentrace oxidu uhelnatého přepočtená na 13 % kyslíku vyšší než hodnota, kterou uvádí výrobce na štítku a vyšší než 1,0 % ($< 1 \%$ při 13 % O_2). Výsledná naměřená účinnost musí být také vyšší nebo rovna, než uvádí výrobce a nesmí být nižší než 60 % ($\eta \geq 60 \%$). Pomocí teplotních čidel je během zkoušky jmenovitého výkonu varného spotřebiče zjišťováno oteplení stěn zkušebního koutu a ovládacích prvků.

Mezi další prováděné zkoušky dle této normy, patří zkouška doby ohřevu varné plochy, zkouška způsobilosti pečicí trouby k pečení, zkouška mřížky pečicí trouby nebo zkouška dvířek pečicí trouby.

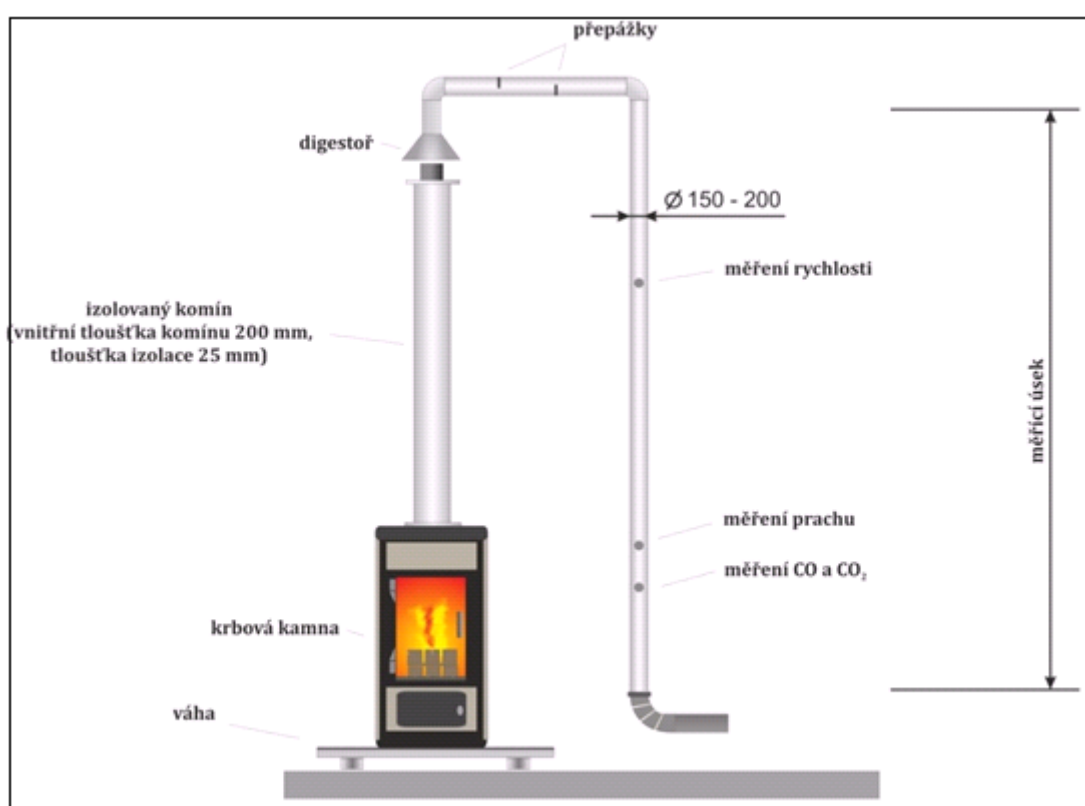
Jednou z nejdůležitějších bezpečnostních zkoušek je zkouška odolnosti proti tepelnému přetížení. Zkušebním palivem je jedlové dřevo o rozměrech 40×60 mm nebo 50×50 mm. Na základě plochy ohniště a výhřevnosti paliva se stanoví dávka paliva. Při zkoušce se ohniště naplní jedlovým dřívím a podtlak v komíně se nastaví v toleranci $0 \div +2$ Pa vyšší, než je podtlak v komíně při jmenovitém výkonu. Varný spotřebič se provozuje s nastavením přívodu vzduchu, který odpovídá maximálnímu tepelnému výkonu (přívody vzduchu jsou nastaveny na maximum). Jedlové dříví se během zkoušky do varného spotřebiče vkládá opakovaně a sleduje se změna teplot podlahy a stěn zkušebního koutu. Jestliže teplota stěn zkušebního koutu přesáhne hodnotu $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, je deklarované umístění výrobcem nevyhovující.

4.2 Testování lokálních spotřebičů podle norské metodiky

Norsko si zvolilo při testování lokálních spotřebičů vlastní postup, než zbytek Evropy. Tato metoda testování se provádí podle norské normy NS 3058 [3] a NS 3059 [4]. Jedná se o popis metodiky měření a požadavky na měření prachu. Norma NS 3058 se skládá ze čtyř hlavních částí. První část se zabývá základními požadavky pro provedení testu. Ve druhé části je popsáno měření prachu ve spalínách, které se provádí za použití ředícího tunelu. Třetí část je zaměřena na měření polycyklických aromatických uhlovodíků ve spalínách a v poslední části je popsáno stanovení oxidu uhličitého a oxidu uhelnatého. Mezi normou norskou a evropskou, lze najít několik hlavních rozdílů. Např. norská norma nedefinuje požadavky na účinnost a také zde nejsou kladeny požadavky na emise oxidu uhelnatého. Oproti normě evropské jsou zde však požadavky na emise prachu, protože stanovení prachu ve spalínách je hlavním cílem této normy. Dalším rozdílem je, že norská metoda má dva základní typy spalovacích zařízení. Jedná se o

spalovací zařízení s katalyzátorem a spalovací zařízení bez katalyzátoru. U norské normy se předepisuje, jaké palivo se smí při zkoušce použít. Jedná se o vysušené smrkové dřevo přesně definovaného tvaru.

Zkoušený spotřebič je uložen na váhovém mostě a je napojen na komín, který má vnitřní průměr 200 mm. Komín je opatřen 25 mm izolací a měří se v něm pouze statický tlak a teplota spalin. Za izolovaným komínem je napojen řídicí tunel, který se skládá z digestoře, neizolovaného potrubí a místa pro odběr vzorku prachu. Digestoř slouží k ředění spalin a v neizolovaném potrubí jsou místa pro analýzu plynných složek spalin. Schéma zkušební sestavy je vyobrazeno na Obr. 8.



Obr. 8 – Schéma zkušební sestavy dle norské metody [8]

Při testech se ve spotřebiči spaluje smrkové dříví, které má energetickou vlhkost v rozmezí 16 - 20 %. Dřevo ve tvaru hranolů o rozměrech 49×49 mm je umístěno mezi podložky tak, aby mezi hranoly vznikly mezery. Tyto mezery mají zajistit hustotu 112 ± 11 kilogramu dřeva na kubický metr objemu ohniště. [2]

Spotřebič je testován při čtyřech různých kategoriích dřeva [2]. Jednotlivé kategorie jsou rozděleny dle spotřeby suchého smrkového dřeva v kg/hod. Podle nejnížší možné spotřeby dřeva, jaké jsou schopna kamna dosáhnout, se kategorie dělí na stupeň 1 a stupeň 2. Spotřeba paliva dle jednotlivých stupňů a kategorií je uvedena v tabulce č. 2.

Regulátory vzduchu jsou při zkoušení spotřebiče v kategoriích 1,2 a 3 nastaveny tak, aby byla dosažena požadovaná spotřeba paliva. Zatímco u kategorie 4 jsou regulátory vzduchu spotřebiče nastaveny na maximum. Navíc lze během prvních pěti minut po přiložení dřeva provést regulaci spalovacího vzduchu podle podmínek v ohništi, což u evropské normy nelze, neboť se během celé doby zkoušení nesmí zasahovat do chodu spotřebiče.

Stupeň	Kategorie 1 [kg/hod]	Kategorie 2 [kg/hod]	Kategorie 3 [kg/hod]	Kategorie 4 [kg/hod]
Stupeň 1	< 0,80	0,80 - 1,25	1,26 - 1,90	> 1,90
Stupeň 2	< 1,25	1,25 - 1,90	1,91 - 2,80	> 2,80

Tabulka 2 - Spotřeba dřeva podle norské metody [3]

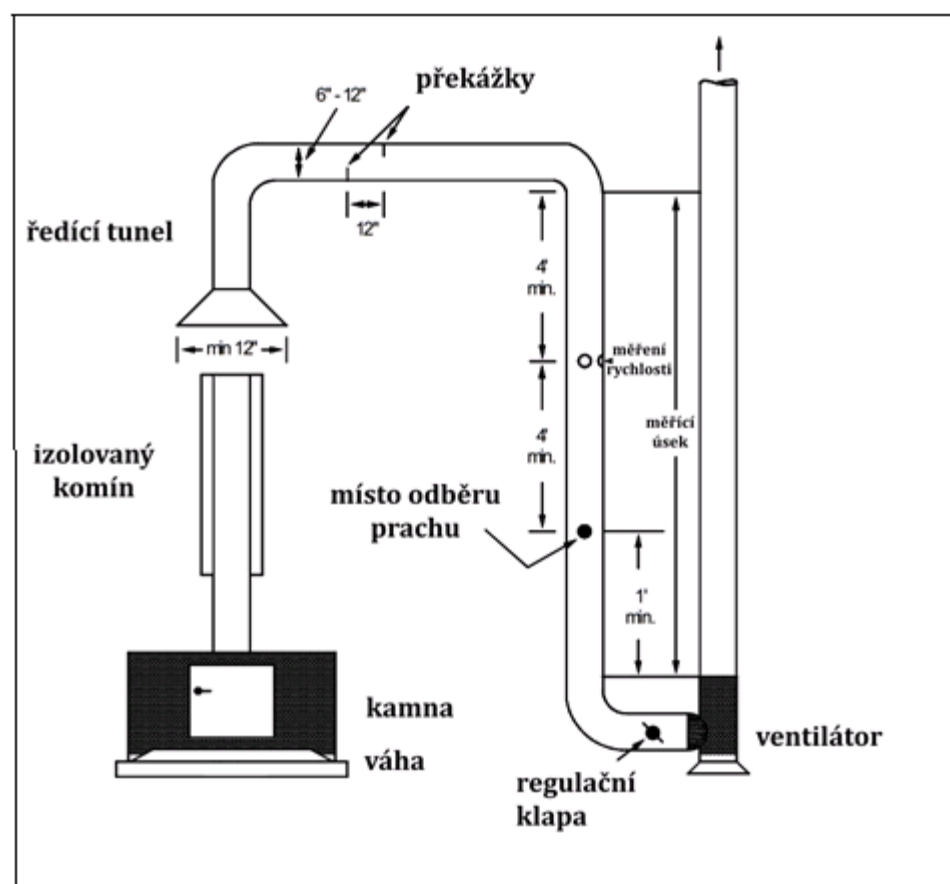
Norská norma klade především důraz na prach vypuštěný ze spalovacího zařízení během provozování. V tabulce č. 3 jsou uvedeny mezní hodnoty pro prach ve spalinách, které jsou vyjádřeny jako průměrná hodnota v g/kg pro všechny kategorie paliva. Hodnoty uvádějí, jak velké množství prachu může vzniknout během jedné hodiny provozu zařízení.

Zařízení	Max. povolené množství prachu pro jeden test [g/kg]	Vážená průměrná hodnota pro čtyři kategorie určené v NS 3058-1 [g/kg]
Zařízení s katalyzátorem	10	5
Zařízení bez katalyzátoru	20	10

Tabulka 3 - Kategorie spotřeby dřeva podle norské metodiky [4]

4.3 Testování lokálních spotřebičů podle standardů EPA

Zkoušené zařízení je testováno v nezávislé akreditované laboratoři podle referenční metody Method 28 [5]. U stanovení pro prachové částice ve spalinách se využívá metod - Method 5G [6] nebo Method 5H [7]. V současné době je pět takto akreditovaných laboratoří ve Spojených státech amerických a dvě jsou v Kanadě [8]. Schéma zkušební sestavy je vyobrazeno na Obr. 9.



Obr. 9 – Schéma zkušební sestavy dle EPA [8]

Zkoušení zařízení se skládá ze série minimálně čtyř testovacích period, které jsou definovány stejně jako v norské metodice čtyřmi kategoriemi na spotřebu suchého dřeva. Jednotlivé kategorie jsou uvedeny v tabulce 4.

Kategorie 1 [kg/hod]	Kategorie 2 [kg/hod]	Kategorie 3 [kg/hod]	Kategorie 4 [kg/hod]
<0,80	0,80 – 1,25	1,25 – 1,90	Maximální spotřeba

Tabulka 4 – Spotřeba dřeva dle standardů EPA [8]

Při zkoušení dle EPA se používá sušené dříví typu douglaska (rychle rostoucí jehličnan) o energetické vlhkosti 16 – 20%. Velmi důležité je, aby bylo dřevo sušeno na vzduchu. Nepřipouští se využití uměle vysušeného dříví při zkoušce.

Během jednotlivých zkoušek se měří prachové částice ve spalínách a po vyhodnocení je prach vyjádřen jako vážená průměrná hodnota v kilogramech za hodinu pro všechny kategorie spotřeby paliva. EPA připouští měření prachu dvěma metodami [8]:

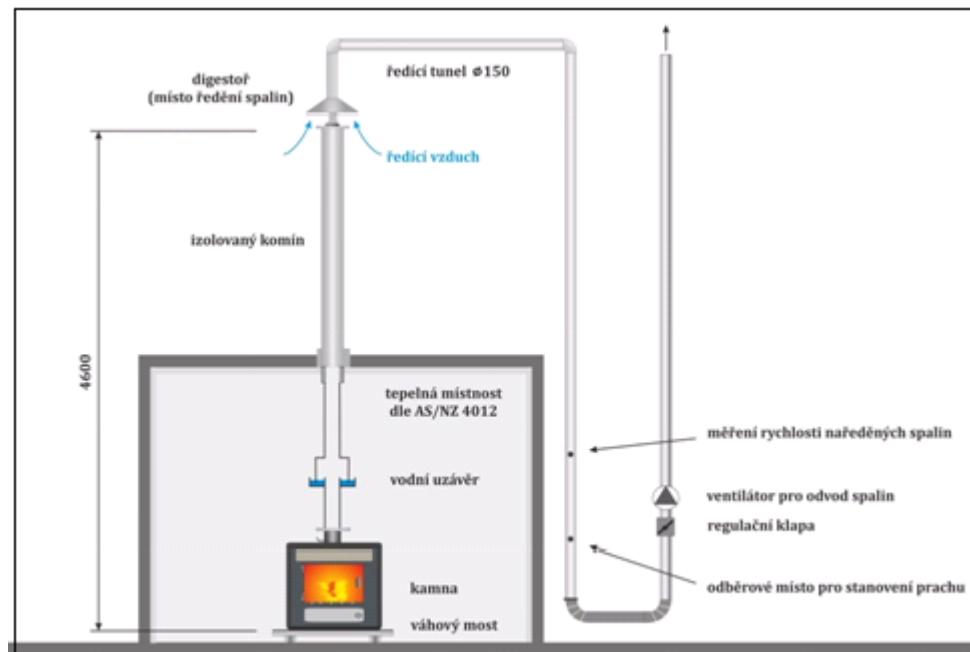
1. Metoda odběru prachu z ředícího tunelu – Method 5G [6]. Metoda spočívá v odběru části spalin z ředícího tunelu (ředící tunel je podobný tunelu dle norské metodiky). Odebrané spaliny jsou následně filtrovány přes dva filtry ze skelných vláken umístěných za sebou. Filtry jsou udržovány na teplotě, která nepřesahuje 32 °C. Množství zachyceného prachu je zjištěno na základě vážení po vysušení filtrů.
2. Metoda odběru prachu přímo z komína za spalovacím zařízením – Method 5H [7]. Z komína za spalovacím zařízením je odebrána část spalin. Odebrané spaliny jsou vedeny přes dva filtry ze skelných vláken, které jsou odděleny impingery (skleněné nádoby s kapalinou pro absorpci prachu). První z filtrů je zahříván na teplotu, která nepřevyšuje hranici 120 °C. Impingery a druhý filtr jsou ochlazovány na teplotu nepřevyšující 20 °C.

4.4 Australsko-novozezélandská metoda testování lokálních spotřebičů

Australská vláda si od roku 1992 klade za cíl vylepšit provozní vlastnosti lokálních spotřebičů, aby se zlepšila kvalita ovzduší během topné sezóny. Podle prvního standardu z roku 1992, nesměla nově vyrobená zařízení emitovat více jak 5,5 gramu prachu na kilogram spáleného dřeva (g/kg). V roce 2014 vznikl společný standard pro Austrálii a Nový Zéland s názvem standard AS/NZS 4013 – 2014 [9]. Nově zavedené emisní limity pro vypuštění prachu ze zařízení jsou 1,4 g/kg pro spalovací zařízení s katalyzátorem a 2,5 g/kg pro spalovací zařízení bez katalyzátoru. Postupu stanovení průměrné účinnosti a tepelného výkonu spotřebiče je popsán ve standardu AS NZS 4012-2014 [10].

Tento postup zkoušení se výrazně liší od ostatních způsobů pro testování. Největší rozdíl spočívá v tom, že testované zařízení je umístěno v tzv. tepelné místnosti. Tepelná místnost je uzavřený a izolovaný prostor o minimálním vnitřním objemu 15 m³ [8]. Ventilátorem se do uzavřeného prostoru vhání studený vzduch ze zkušebny a zároveň se ventilátorem odsává ohřátý vzduch. V potrubí odsávaného vzduchu je instalováno měření rychlosti, ze kterého lze vypočítat objemový průtok teplého vzduchu. Pomocí tepelné bilance vstupujícího a vystupujícího vzduchu z místnosti lze zjistit množství tepla předaného zařízením do místnosti. Zatímco v ostatních metodikách se stanovuje účinnost nepřímou metodou (na základě jednotlivých ztrát, 100 % – suma ztrát, kde největší ztrátou je ztráta komínová), tak pomocí tohoto přístupu lze stanovit účinnost přímou metodou,

tj. účinnost se rovná předaný tepelný výkon do okolí k příkonu v palivu [8]. Zkušební sestava pro australsko-novozélandskou metodu testování je vyobrazena na Obr. 10.



Obr. 10 – Schéma zkušební sestavy pro australsko-novozélandskou metodu [8]

Základním požadavkem této metody je stanovení měrné emise prachu při těchto výkonostních úrovních [8]:

1. Nízký výkon - přívod spalovacího vzduchu je nastaven na minimum.
2. Vysoký výkon - přívod spalovacího vzduchu je nastaven na maximum.
3. Střední výkon – střední hodnota mezi nízkým a vysokým výkonem.

Prach je odebírán v ředicím tunelu a pro každou výkonostní úroveň je stanovena jeho měrná emise. Celková měrná emise se vypočte jako průměr měrných emisí, které jsou stanoveny při nízkém, vysokém a středním výkonu.

4.5 Legislativní požadavky vztahující se na lokální spotřebiče

V Evropě se před uvedením lokálních spotřebičů na trh provádí zkoušení podle norem EN 13240, EN 13229, EN 14785, EN 15250 a EN 12815. Postupy při zkoušení těchto norem jsou si velice podobné. Emisní limity uvedené v tabulce č. 5, musí spotřebiče podle norem splňovat pouze při zkoušce jmenovitého výkonu. Jedinou výjimkou jsou spotřebiče spalující dřevěné pelety, které mají odlišné limity při sníženém výkonu. Zpřísnění obecných limitů v jednotlivých státech Evropy přináší různé vyhlášky nebo nařízení.

Jedny z nejprísnejších vyhlášek majú v Nemecku a Rakousku. Nově se od roku 2022 chystá směrnice Evropského parlamentu a Rady o Ekodesignu pro interiérová topidla na tuhá paliva.

Norma	Zařízení	Limit pro CO ¹⁾ [%]	Minimální účinnost [%]
EN 13240	krbové kamna	1,0	50
EN 13229	krbové vložky	1,0	30
	kachlová kamna <15 kW	0,2	75
EN 14785	spotřebiče spalující dřevěné pelety	0,04/0,06 ²⁾	75/70 ²⁾
EN 15250	akumulační kamna	0,3	70
EN 12815	varné spotřebiče	1,0	60
¹⁾ při referenčním obsahu O ₂ = 13%			
²⁾ hodnoty při sníženém výkonu			

Tabulka č. 5 – Obecné emisní limity v EU [16]

Česká republika přebírá obecné evropské limity uvedené v tabulce č. 5. Navíc u lokálních topenišť s vodním výměníkem, určených pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění, platí navíc zákon č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší [26].

Od 1. 1. 2014 je možné v České republice prodávat pouze lokální topeniště (krbové vložky nebo kamna s vodním výměníkem), které splňují požadavky uvedené v tabulce č. 6.

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon [kW]	Mezní hodnoty emisí ¹⁾	
			CO [mg/m³_N]	Prach [mg/m³_N]
Ruční	biologické	≤ 65	5000	150
		> 65 až 187	2500	150
		> 187 až 300	1200	150
	fosilní	≤ 65	5000	125
		> 65 až 187	2500	125
		> 187 až 300	1200	125
Samočinná	biologické	≤ 65	3000	150
		> 65 až 187	2500	150
		> 187 až 300	1200	150

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon [kW]	Mezní hodnoty emisí ¹⁾	
			CO [mg/m ³ _N]	Prach [mg/m ³ _N]
Samočinná	fosilní	≤ 65	3000	125
		> 65 až 187	2500	125
		> 187 až 300	1200	125
¹⁾ Vztahuje se k suchým spalínám, teplotě 273,15 K, tlaku 101325 Pa a referenčnímu obsahu kyslíku 13 %				

Tabulka 6 - Emisní požadavky na lokální topeniště s vodním výměníkem na tuhá paliva do 300kW uváděna na trh od 1. 1. 2014 [16]

Navíc od 1. 1. 2018 dojde k zprůsnění a bude možné prodávat pouze ty lokální topeniště, které splní požadavky uvedené v tabulce 7.

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon [kW]	Mezní hodnoty emisí	
			CO [mg/m ³ _N]	CO [mg/m ³ _N]
Ruční	biologické/fosilní	≤ 300	1200	75
Samočinná	biologické/fosilní	≤ 300	1000	60

Tabulka 7 - Emisní požadavky na lokální topeniště s vodním výměníkem na tuhá paliva do 300kW uváděna na trh od 1. 1. 2018 [16]

V Německu je platná vyhláška 1. BImSchV [17], která zprůsňuje limity pro koncentrace škodlivin vypuštěných do ovzduší při provozu lokálních spotřebičů na tuhá paliva [18]. Od 1. 1. 2015 došlo k zprůsnění limitů - Stufle 2. Jde se o limity, které musí lokální spotřebič splnit při jmenovitém výkonu. Tyto limity jsou uvedeny v tabulce 8.

Zařízení	Norma	Prach ¹⁾ [mg/m ³ _N]	CO ¹⁾ [mg/m ³ _N]	Účinnost
Interiérové topidlo bez násypné šachty	EN 13240	40	1250	73
Interiérové topidlo s násypnou šachtou	EN 13240	40	1250	70
Krbová vložka s uzavřenými příkladacími dvířky	EN 13229	40	1250	75
Vložka pro kachlová kamna bez násypné šachty	EN 13229	40	1250	80
Vložka pro kachlová kamna s násypnou šachtou	EN 13229	40	1250	80

Zařízení	Norma	Prach ¹⁾ [mg/m ³ _N]	CO ¹⁾ [mg/m ³ _N]	Účinnost
Akumulační kamna	EN 15250	40	1250	75
Spotřebiče na dřevěné brikety bez vodního výměníku	EN 14785	30	250	85
Spotřebiče na dřevěné brikety s vodním výměníkem	EN 14785	20	250	90
Varný spotřebič	EN 12815	40	1500	70
Varný spotřebič s vodním výměníkem	EN 12815	40	1500	75
¹⁾ při referenčním obsahu O ₂ = 13%				

Tabulka 8 – Požadavky pro zařízení uváděná na německý trh [16]

V Rakousku jsou nejkomplexněji sledovány emise znečišťujících látek z celé Evropy. Emisní limity, platné od 1. 1. 2015, jsou zde upraveny dohodou 15a B-VG [19] a každé spalovací zařízení musí splnit hodnoty uvedené v tabulce 9 při zkouškách jmenovitého výkonu.

Spalovací zařízení na tuhá paliva		Mezní hodnoty emisí [mg/MJ]			
		CO	NO _x	TOC	Prach
Ručně obsluhovaná	paliva na bázi dřeva	1100	100	50	35
	ostatní biogenní paliva	1100	300	50	35
	fosilní paliva	1100	100	80	35
Automaticky obsluhovaná	dřevní pelety	1100	100	30	25

Tabulka 9 - Požadavky pro zařízení uváděná na rakouský trh [16]

Navíc u spalovacích zařízení s výkonem vyšším než 8 kW, musí být splněny limity pro CO, TOC a účinnost při sníženém výkonu (50 % jmenovitého výkonu u ručně obsluhovaných a 30 % jmenovitého výkonu u automaticky obsluhovaných) [16]. Požadavky na účinnost spalovacích zařízení dle 15a B-VG jsou uvedeny v tabulce 10.

Spalovací zařízení	Účinnost [%]
Sporáky na fosilní paliva	73
Sporáky na standardní biogenní paliva	72
Spalovací zařízení fosilní a standardní biogenní paliva	80

Tabulka 10 – Požadavky na účinnost dle 15a B-VG [19]

Směrnice Evropského parlamentu a Rady o Ekodesignu pro interiérová topidla na tuhá paliva Směrnice se zabývá přehledem platných právních předpisů, které stanovují požadavky na Ekodesign výrobku. Záměrem směrnice je podpořit snížení spotřeby energie nejen při fázi výroby, ale také při provozování výrobku za účelem získání co nejvyššího přínosu pro zlepšení životního prostředí. Toto nařízení platí pro lokální topidla (sporáky, kamna, krbové vložky, aj.) s maximálním jmenovitým tepelným výkonem 50 kW.

Ekodesign je soubor parametrů, které musí výrobce nebo dovozce výrobku dodržet při jeho uvedení na evropský trh. Jedním z hlavních parametrů je sezónní energetická účinnost, což je poměr mezi potřebou tepla pro vytápění dodávaného lokálním topidlem a roční spotřebou energie, potřebné k uspokojení této potřeby uváděný v procentech. Při zvýšení této účinnosti nastane výrazné snížení množství skleníkových plynů.

Schválené emisní limity pro interiérová topidla jsou uvedeny v tabulce č. 10. Při měření pevných částic se může volit ze dvou metod. V prvním případě se jedná o měření přes vyhřívaný filtr (HF) a v druhém o měření ředícím tunelem (DT).

Interiérová topidla – parametry pro Ekodesign	Limitní hodnoty – platnost 1. ledna 2022		
	Otevřená	Uzavřená vč. sporáků	Peletová
Sezónní energetická účinnost [%]	30	65	79
Pevné částice (PM) ¹⁾ – HF [mg/m ³ _N]	50	40	20
Pevné částice (PM) ¹⁾ – DT [g/kg]	6	5	2,5
Organické plynné sloučeniny (TOC) ¹⁾ [mg/m ³ _N]	120	120	60
Oxid uhelnatý (CO) ¹⁾ [mg/m ³ _N]	200	1500	300
Oxidy dusíku (NO _x) ¹⁾ [mg/m ³ _N] topidla na biomasu	200	200	200

Interiérová topidla – parametry pro Ekodesign	Limitní hodnoty – platnost 1. ledna 2022		
	Otevřená	Uzavřená vč. sporáků	Otevřená
Oxidy dusíku (NO_x)¹⁾ [mg/m³_N] topidla na fosilní paliva	300	300	300
¹⁾ při referenčním obsahu O ₂ = 13%			

Tabulka 11 – Schválené emisní limity pro interiérová topidla [11]

5 Experimentální zkoušení varného spotřebiče

5.1 Úvod

V první části experimentálního zkoušení jsem prototyp sporáku VSP podrobil zkouškám provozních vlastností při jmenovitém tepelném výkonu dle normy ČSN EN 12815:2002 a změny A1:2005, kapitola A 4. 9. Tato norma má i jiné zkušební postupy testování, ale ty nebyly náplní mé diplomové práce.

Při zkoušení jsem použil tyto paliva:

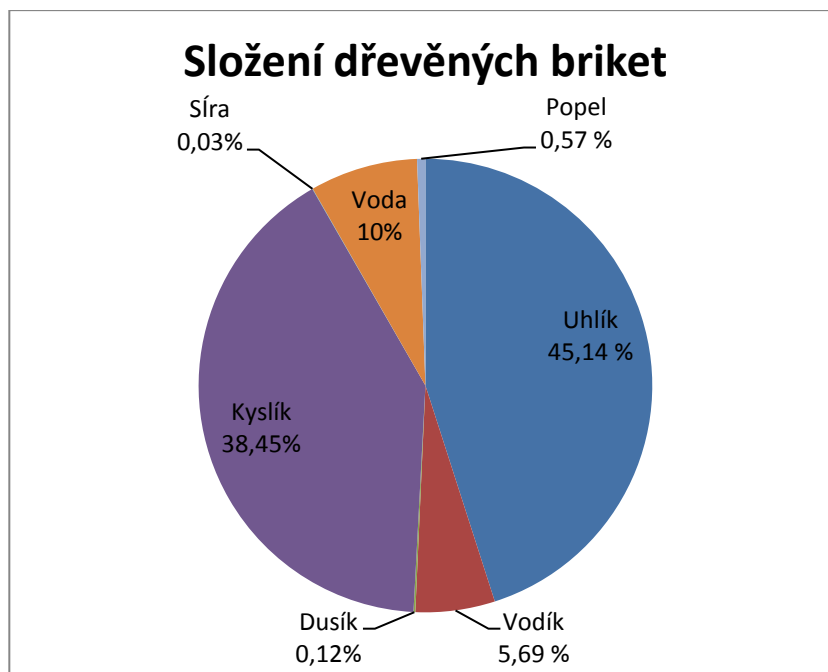
- dřevěné brikety BIOMAC ENERGO TOP;
- bukové dřevo.

Doporučeným palivem od výrobce byly dřevěné brikety. Testování s bukovým dřevem bylo zejména pro porovnání chování sporáku s jiným, než doporučeným palivem. Následné výsledky jsem porovnal a vyhodnotil ve vztahu k platné legislativě, uvedené v kapitole 4.5.

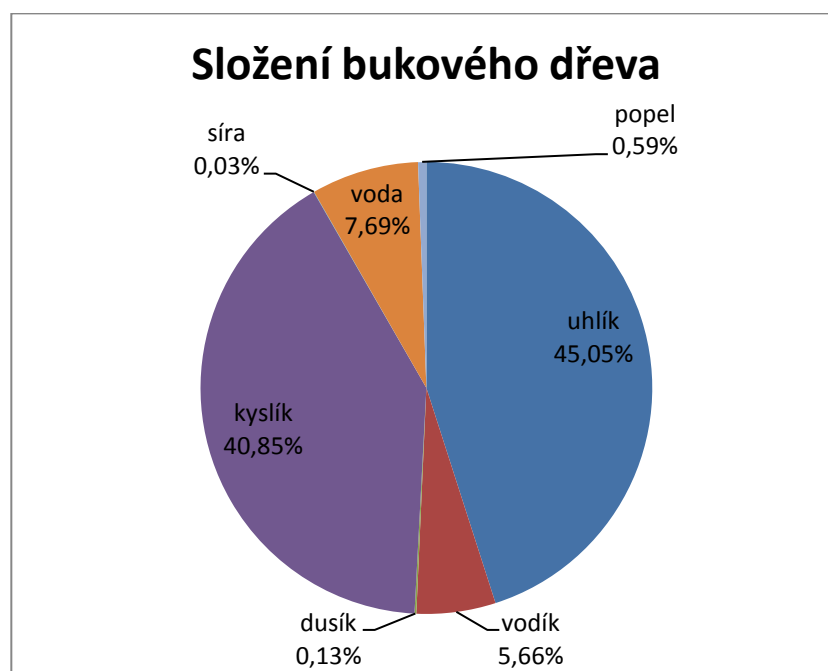
Rozborem paliva v laboratoři bylo zjištěno následující chemické složení dřevěných briket a bukového dřeva v surovém stavu:

Prvek	Označení	Dřevěné brikety	Bukové dřevo
		Množství [%]	Množství [%]
Uhlík	C ^r	45,14	45,05
Vodík	H ^r	5,69	5,66
Dusík	N ^r	0,12	0,13
Kyslík	O ₂ ^r	38,45	40,85
Síra	S ^r	0,03	0,03
Voda	W ^r	10,00	7,69
Popel	A ^r	0,57	0,59

Tabulka 12 – Chemické složení dřevěných briket a bukového dřeva



Graf 1- Složení dřevěných briket



Graf 2- Složení bukového dřeva

Ve druhé části experimentálního zkoušení jsem prototyp sporáku VSP umístil do kalorimetrické komory, kde byl testován při nuceném a poté při přirozeném tahu. Výsledkem je stanovení vlivu přirozeného a nuceného tahu na průběh provozních parametrů (výkon, účinnost, emise, teplota spalin).

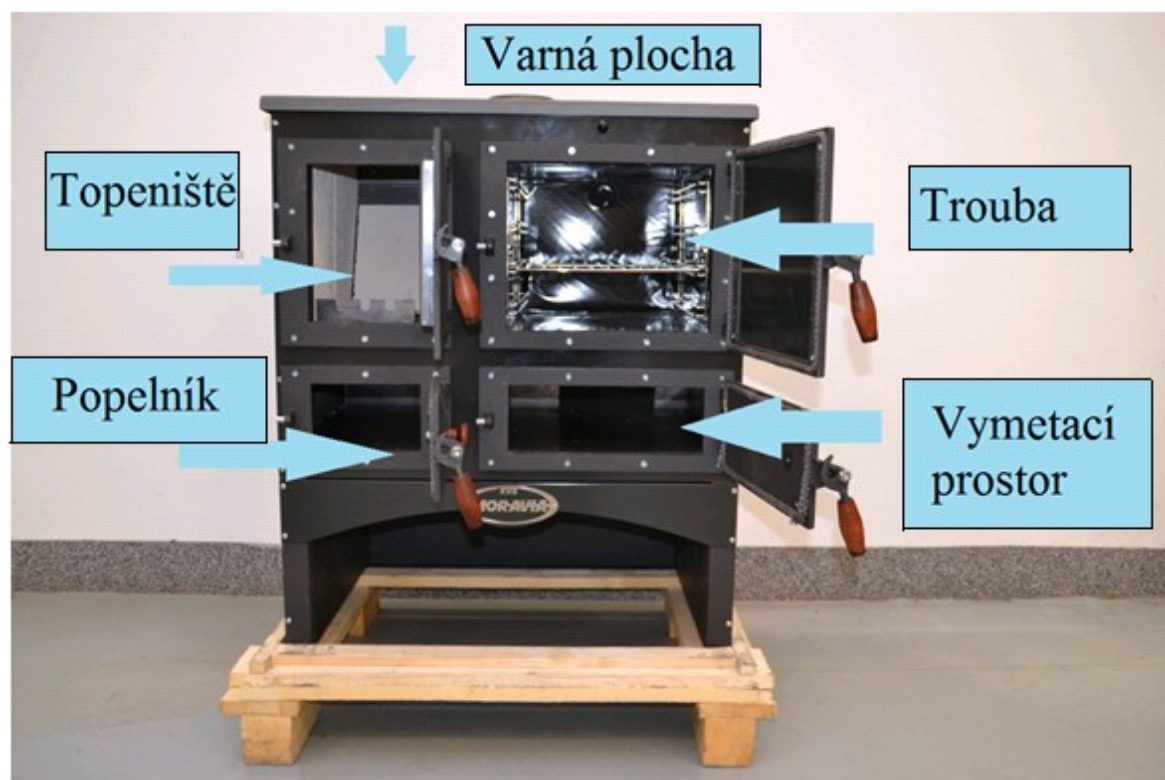
5.2 Testovaný spotřebič

Testovaným varným spotřebičem byl prototyp sporáku VSP (Obr. 11) od firmy KVS MORAVIA. Jedná se o sporák na tuhá paliva, kde doporučeným palivem od výrobce jsou dřevěné brikety (lisované dřevo s obsahem vlhkosti $< 12\%$). Sporák není vhodný jako hlavní zdroj tepla k vytápění, ale je určen k pečení a vaření, popřípadě k vytápění prostoru, v němž je umístěn.



Obr. 11 – Prototyp sporáku VSP

Topeniště sporáku je vybaveno jedním roštem, vnitřní zazdívkou, složenou z izolační vrstvy a žáruvzdorných šamotových cihel. Dvířka popelníku slouží jako regulace přívodu primárního vzduchu do topeniště. Dvířka jsou vybavena vzduchovou růžicí (Obr. 24), a jejím otáčením lze plynule regulovat přívod vzduchu. Během provozu nesmí dojít k ucpání tohoto přívodu vzduchu, aby byl zajištěn bezpečný provoz sporáku. Vymetací otvor pod troubou je určen k čištění spalinových cest od sazí, které se při provozu v chladnějších částech tahové soustavy usazují. Plotna sporáku je tvořena pevnou a odnímatelnou (dilatační) částí. Nad topeništěm se nachází plotna určená k rychlému vaření. Plotna nad troubou s nižší teplotou je určena zejména pro pomalé vaření nebo udržování teplých pokrmů. Uprostřed plotny v zadní části se nachází otvor, sloužící k napojení sporáku na komín. Popis sporáku VSP je vyobrazen na Obr. 12.



Obr. 12 – Popis sporáku VSP

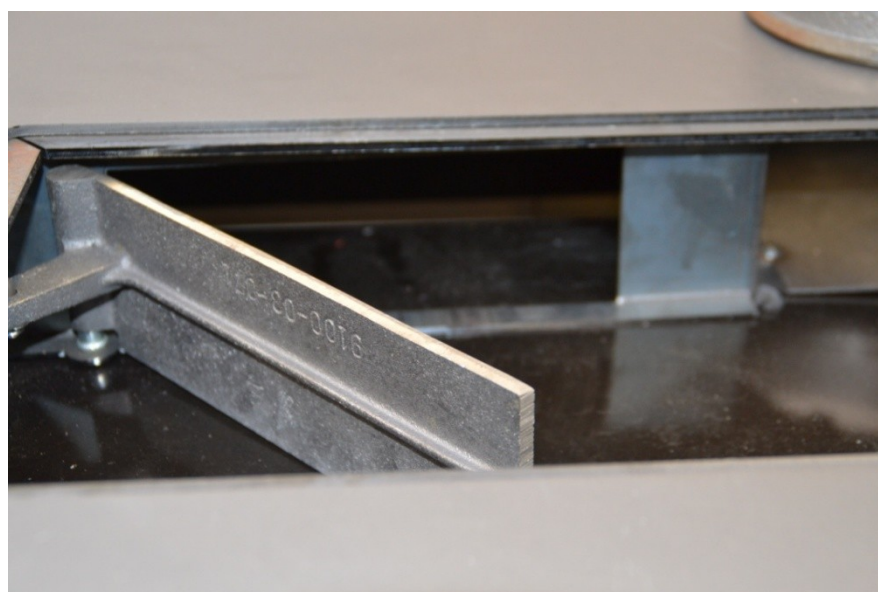
Zatápěcí klapka má dva režimy provozu a reguluje se pákou klapky, umístěnou nad troubou.

První možností je provoz zatápění a intenzivní vaření na ploše plotny. V tomto případě je páka vysunuta (Obr. 13) a klapka pod plotnou se otevře (Obr. 14). Tato varianta se využívá především při zátoku pro dokonalejší rozhoření paliva. Není vhodné provozovat

sporák s touto variantou delší dobu, protože se výrazně zvyšují ztráty (především komínová ztráta) a snižuje účinnost celého zařízení.

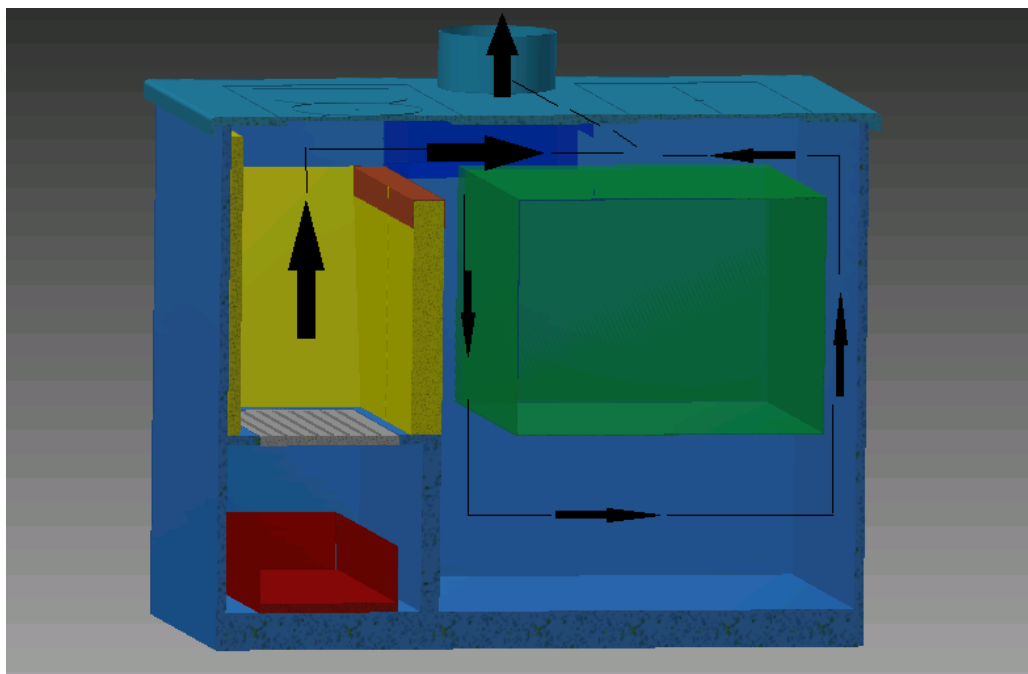


Obr. 13 – Provoz při zatápění



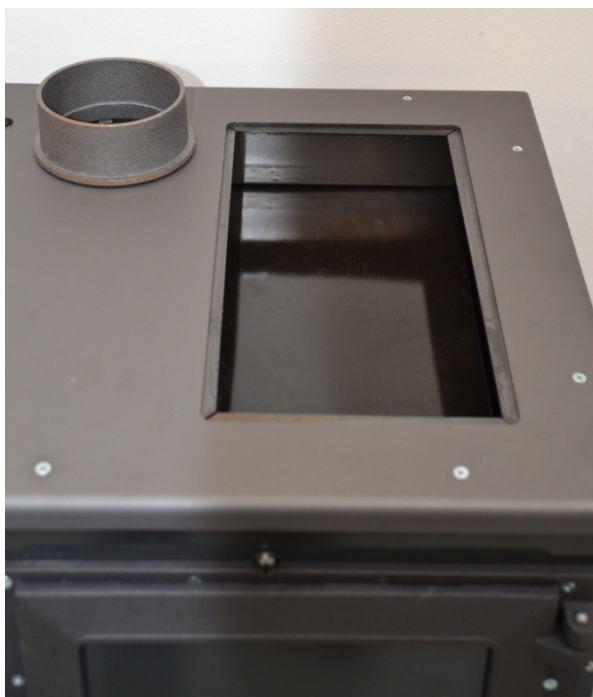
Obr. 14 – Otevřená zátopová klapka

Na Obr. 15 je vyobrazen popis odvodu spalín ze sporáku při otevřené zátopové klapce. Dominantní proud spalín ihned po opuštění topeniště vystupuje rovnou do prostoru nad troubou a následně odtahovým hrdlem do komína. Jen malá část spalín proudí vymetacím otvorem pod troubou.

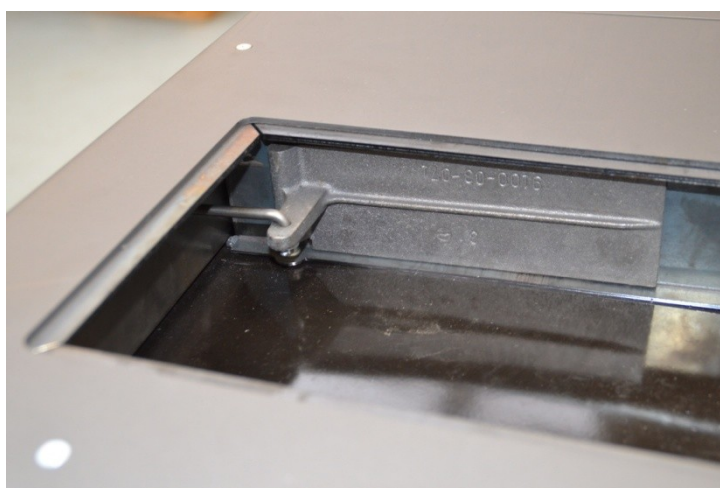


Obr. 15- Popis odvodu spalín při otevřené zátopové klapce

Druhou možností nastavení sporáku je provoz při pečení v troubě a vaření na plotně. Při tomto režimu je páka zasunuta k plotně (Obr. 16) a klapka se uzavře (Obr. 17). Po uzavření klapky spaliny nemůžou ihned po opuštění topeniště proudit nad plochu nad troubou.

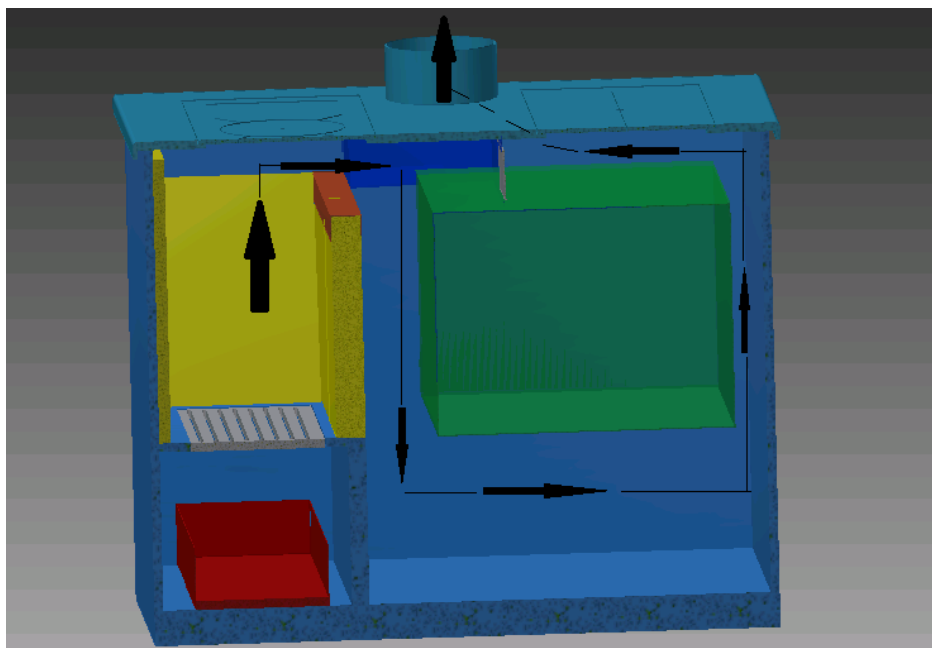


Obr. 16 – Provoz při pečení v troubě



Obr. 17- Uzavřená zátopová klapka

Na Obr. 18 je znázorněn popis odvodu spaliny při uzavřené zátopové klapce. Při tomto nastavení musí veškeré vzniklé spaliny proudit vymetacím otvorem okolo celé trouby, než se dostanou k odtahovému hrdlu sporáku. Jedná se o daleko ekonomičtější způsob provozování sporáku, než při otevřené zátopové klapce. Výhodou je především prodloužení toku spalin, čímž se zvyšuje výkon a účinnost spotřebiče.



Obr. 18 - Popis odvodu spalín při uzavřené zátopové klapce

5.3 Zkouška provozních vlastností při jmenovitém tepelném výkonu

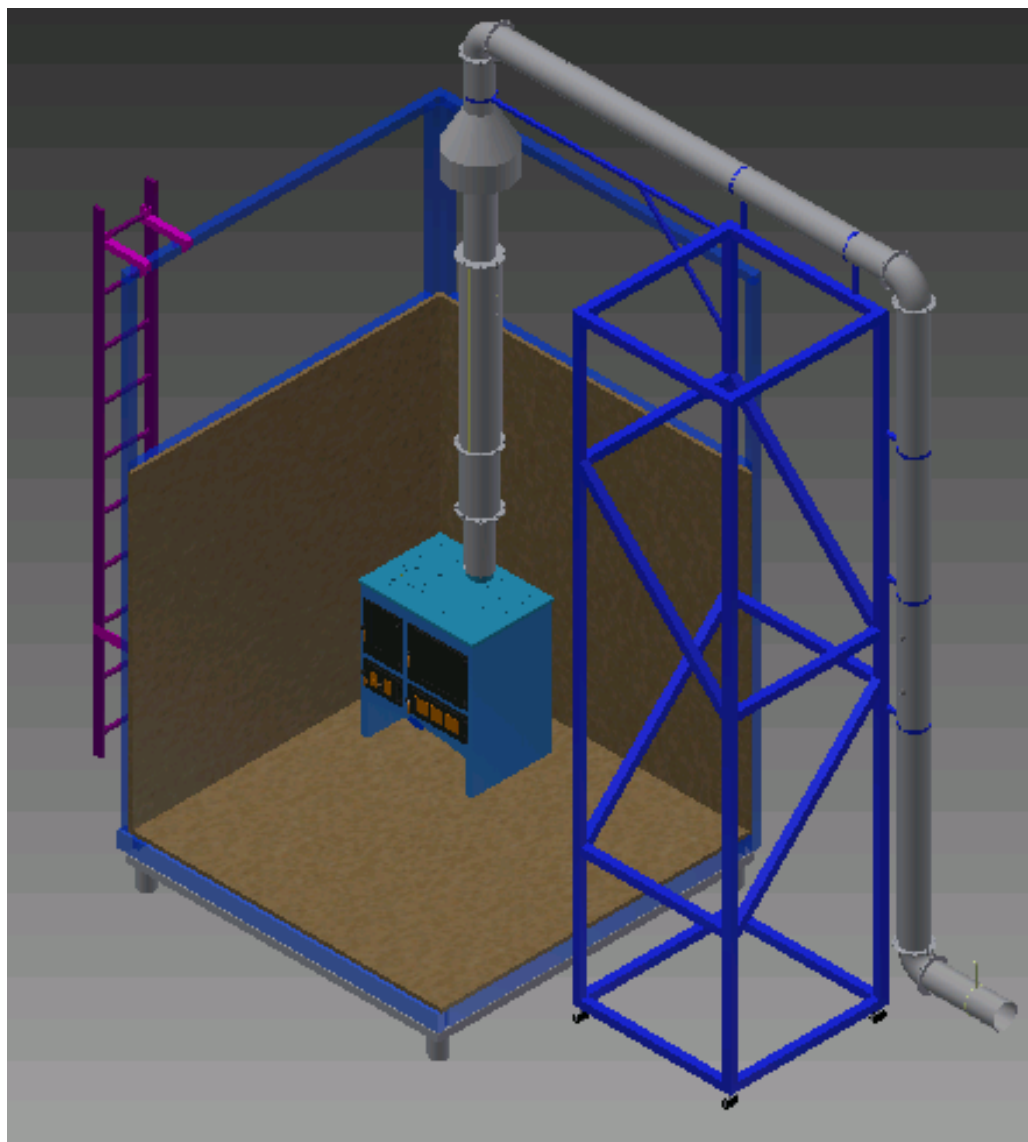
Tato zkouška byla provedena dle normy ČSN EN 12815: 2002 a změny A1:2005, kapitola A 4. 9 ve zkušebně spalovacích zařízení (budova 2) Výzkumného energetického centra (VEC) v Ostravě.

5.3.1 Návrh a příprava experimentálního stanoviště

Nejprve byl sporák VSP umístěn do zkušebního koutu ve vzdálenosti 200 mm od stěn, což je nejmenší bezpečná vzdálenost od hořlavých hmot doporučená výrobcem zařízení. Kout je sestaven z podlahy, boční a zadní stěny navzájem na sebe kolmých. Kout je uložen na tenzometrické váze, pro zjištění úbytku paliva během zkoušení. Průměr odtahového hrdla sporáku má průměr 120 mm. Dle normy bylo hrdlo pro odvádění spalín napojeno pomocí neizolovaného kouřovodu s délkou 330 mm. Následně byl napojen izolovaný mezikus o délce 360 mm. Protože průměr hrdla sporáku byl menší než 180 mm, na izolovaný mezikus byl připojen měřicí úsek spalín o celkové délce 975 mm. Izolace měřicího úseku má tloušťku 40 mm a je vyrobena z minerální vlny. Veškeré vnitřní průměry potrubí byly dle normy 150 mm. V měřicím úseku jsou dva otvory pro vložení sondy, měřící teplotu a složení spalín a také pro sondu, měřící statický tlak. Volné spojení kouřovodu s komínem bylo zajištěno digestoří s ředícím tunelem, za kterým byl umístěn kouřový ventilátor umožňující požadované nastavení podtlaku. Celková

sestava včetně sporáku, kterou jsem vymodeloval v programu Autodesk Inventor Profesional 2014, je vyobrazena na Obr. 19. Jako příloha, je k diplomové práci přiložen sestavný výkres stanoviště včetně sporáku (BOR 0064 – 1A) a výrobní výkres roštu (BOR 0064 – 1B).

Experimentální stanoviště, které jsem navrhl a vymodeloval, lze použít při testování lokálních spotřebičů dle standardů EPA. V měřicí trati jsou umístěny dvě překážky, vzdálené od sebe 300 mm, místo pro měření rychlosti a odběrové místo prachu.



Obr. 19 - Zkušební sestava

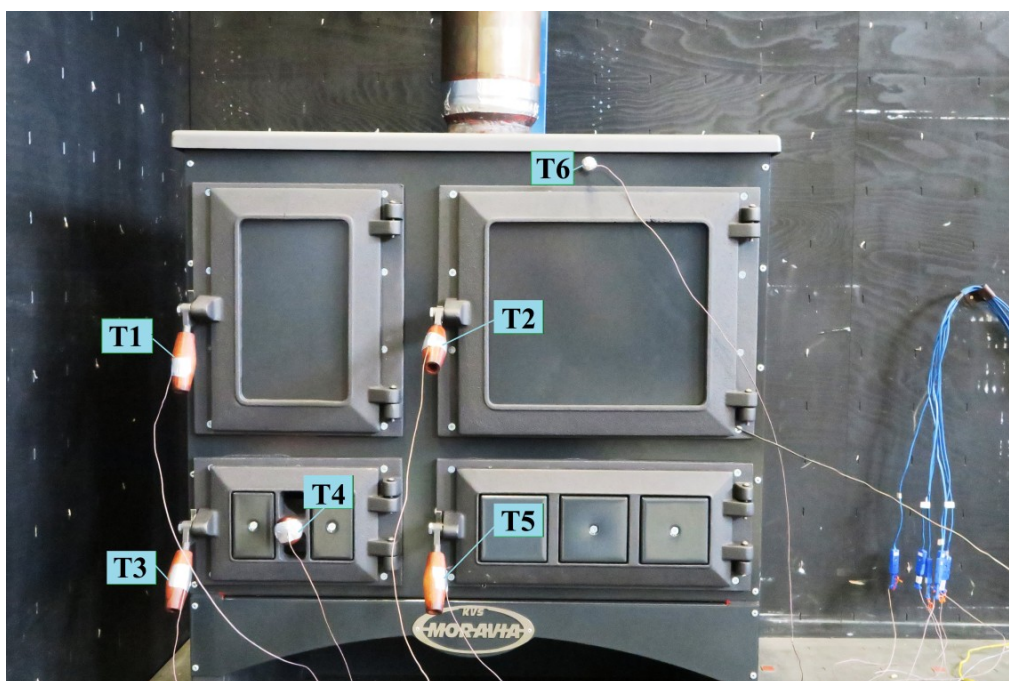
5.3.2 Použité přístroje a zařízení

Pomocí tlakoměru ± 50 Pa (Obr. 23) byl měřen statický tlak v komíně, který se udržoval na požadované hodnotě -12 Pa.

Na ovládací prvky sporáku (madla dvířek, apod.) byly nainstalovány termočlánky typu T (T1 – T6) pro snímání oteplení povrchu. Termočlánek typu T je snímač teploty skládající se ze dvou drátů (Měď vs. Měď - Nikl) spojených do jednoho bodu. Termočlánek má rozsah měření teploty do 350 °C.

Pro měření teploty spalín (K1) a teploty ve středu pečící trouby (K2) se použily termočlánky typu K. Termočlánek typu K je snímač teploty skládající se ze dvou drátů (Nikl - Chrom vs. Nikl - Hliník) spojených do jednoho bodu. Termočlánek má rozsah měření teploty do 1250 °C.

Rozmístění termočlánků T1 – T6 je uvedeno na Obr. 20 a na Obr. 23 je rozmístění termočlánků K1 a K2.



Obr. 20 – Rozmístění termočlánků typu T

Pro měření koncentrace tuhých znečišťujících látek (TZL) ve spalínách byla použita odběrová aparatura WÖHLER SM 96 (Obr. 21). Aparatura je určena pro měření koncentrace prachu (do 200 mg/m³_N) v izolovaném měřicím úseku za spalovacím zařízením. Vzorek spalín je odebírán z kouřovodu odběrovou sondou o průměru 8 mm s rozšířením hubice na 9,74 mm, která prochází přes chladič a vytápěný zachycovač. Odběr byl vždy zahájen tři minuty po přiložení nové dávky paliva u jednotlivých zkoušek a trval 30 minut.



Obr. 21 - WÖHLER SM 96

Pro složení spalin za sporákem byl použit stacionární analyzátor spalin (Obr. 22). Základní měřené složky obsažené ve spalinách jsou oxid uhelnatý, oxid uhličitý a oxidy dusíku. Tyto složky jsou měřeny na základě principu pohlcení infračerveného záření. Obsah uhlovodíků (TOC) se stanovuje na základě plamenoionizační detekce. Dále se zde měří koncentrace kyslíku ve spalinách pomocí paramagnetických vlastností kyslíku. K analyzátoru je připojeno vytápěné vedení vzorku a vytápěná keramická sonda skládající se z keramického filtru pro odloučení prachových částic.



Obr. 22- Analyzátor spalin

Na Obr. 23 je znázorněno umístění termočlánků K1 (teplota spalin) a K2 (teplota v troubě), odběrové místo pro plynou analýzu spalin, měření komínového tahu a odběr prachu.



Obr. 23 – Umístění termočlánků, odběrové místo plyné analýzy, komínového tahu a odběr prachu

5.3.3 První zkoušky a optimalizace nastavení sporáku pro zkoušky jmenovitého výkonu

První experimentální zkoušení prototypu sporáku VSP jsem provedl 18. 2. 2016. O testovaném sporáku jsem věděl pouze to, že výrobce doporučuje spalování dřevěnými briketami o hmotnosti dva kilogramy a nastavení primárního vzduchu pomocí vzduchové růžice na jednu čtvrtinu.

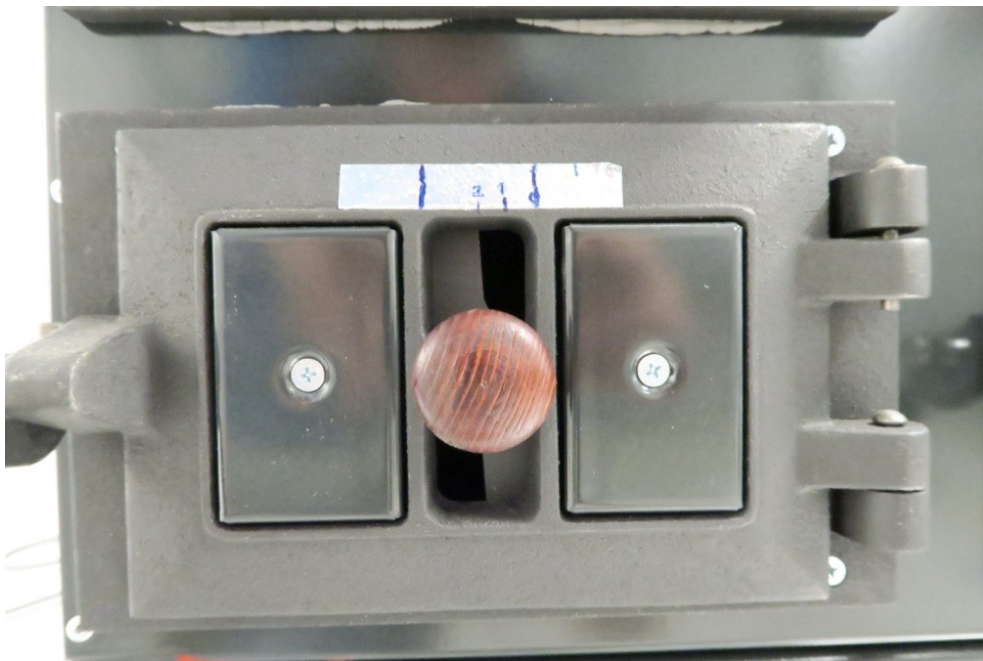
Veškeré zkoušení bylo provedeno dle normy ČSN EN 12815: 2002 a změny A1:2005, kapitola A 4. 9. Jednalo se o zkoušku provozních vlastností při jmenovitém tepelném výkonu, kterou jsem popsal v kapitole 4.1. Tato zkouška se skládala ze zátopy (uvedení do provozu), jedné doby nebo několika dob před zkoušením, které jsou nutné k dosažení ustáleného stavu sporáku a doby zkoušení. Pro výsledné výpočty je nutno provést nejméně dvě jednotlivé zkoušky pro zjištění nezbytných zkušebních parametrů.

První den zkoušení jsem hledal optimální nastavení sporáku. Jednalo se především o velikost a množství přikládaného paliva, a také optimální nastavení primárního spalovacího vzduchu. Pro zátop bylo použito suché bukové dřevo o hmotnosti 2,03 kg s výhřevností 16 430 kJ/kg. Po dosažení ustáleného stavu sporáku, došlo k prvnímu zkoušení optimálního nastavení s použitím dřevěných briket BIOMAC ENERGO TOP o výhřevnosti 16 520 kJ/kg. Celkem se první den vyzkoušely tři režimy. Pro první režim, jsem zvolil dřevěnou briketu o hmotnosti 2 kg a přívod primárního vzduchu jsem nastavil na jednu čtvrtinu. Před druhým režimem se plotny sporáku zatěsnily kamnářským tmelem a zároveň byla zatěsněna příkladací dvířka kamnářskou šňůrou, pro dokonalejší těsnost sporáku. Po utěsnění sporáku, jsem pro druhý režim, opět zvolil dřevěnou briketu o hmotnosti 2 kilogramy a přívod primárního vzduchu zůstal nastaven na jedné čtvrtině. Pro třetí režim jsem zvolil nižší hmotnost brikety (1,75 kg) a přívod primárního vzduchu nastavil na jednu polovinu.

Dle normy, nastalo ukončení každého režimu tehdy, když hmotnost základní vrstvy paliva včetně popela se nelišila od hmotnosti na konci předchozího režimu o více než 50 g. Dodržet se také musela minimální délka jednoho režimu, která byla normou stanovena na jednu hodinu.

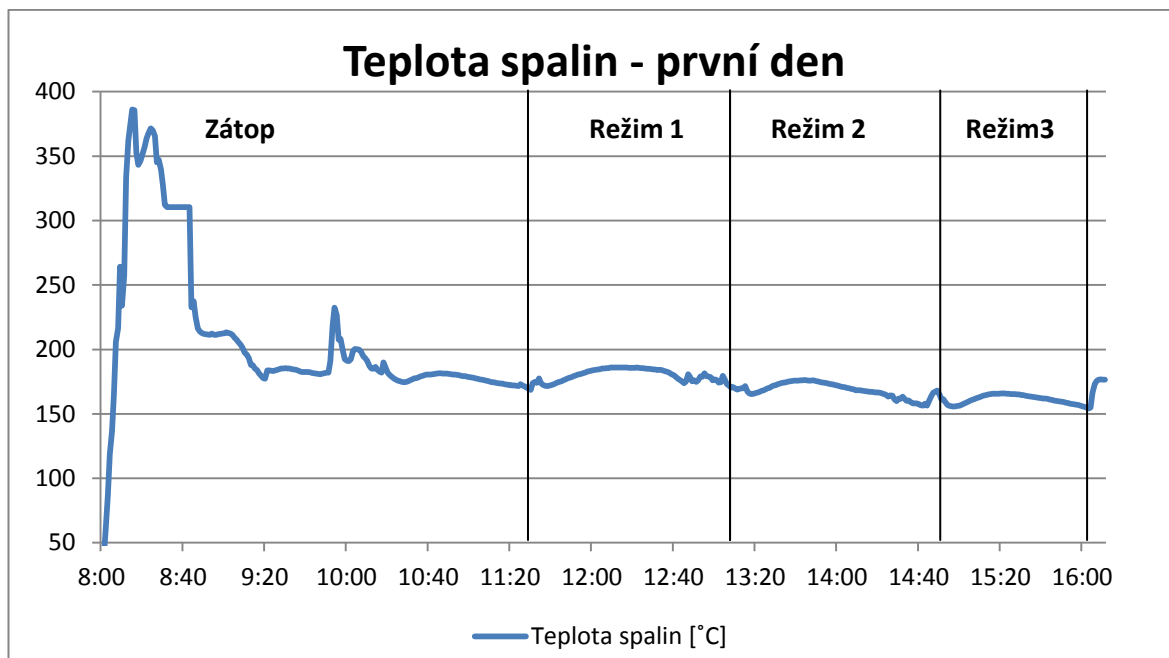
Jako optimální nebylo zvoleno nastavení, které doporučoval výrobce (Režim 1). Jako optimální nastavení jsem zvolil možnost, kdy ideálním množstvím paliva byla zvolena váha 1,75 kg a nastavení primárního vzduchu růžicí při otevření na polovinu

(Obr. 24). Při režimu 3 dosahoval sporák VSP nejvyšší účinnosti a nejlepších naměřených hodnot emisí CO, TOC a prachu. Proto jsem tento režim zvolil pro zbylé dny testování.



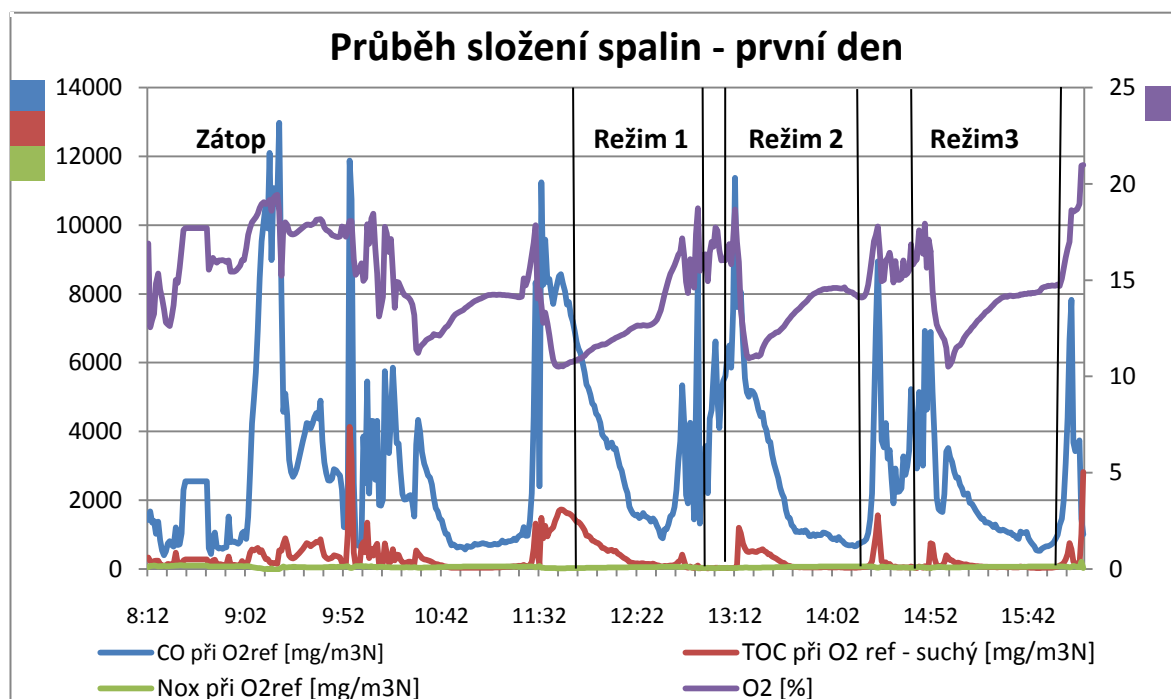
Obr. 24 – Optimální nastavení primárního vzduchu

Průběh teploty spalin během prvního dne je vyznačen v grafu 1.



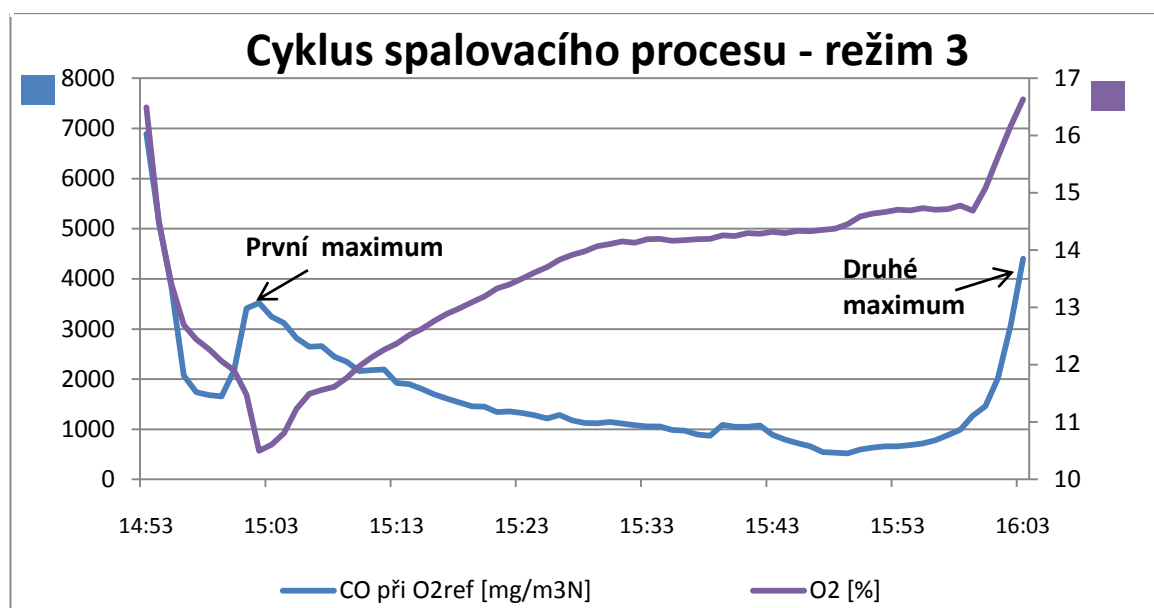
Graf 3- Teplota spalin první den

V grafu 2 jsou na hlavní ose vyznačeny průběhy emisí CO (modrá), TOC (červená) a NOx (zelená) při referenčním obsahu kyslíku 13 %. Na vedlejší ose je průběh O2 (fialová).



Graf 4 - Emise prvního dne

V grafu 3 je znázorněn cyklus spalovacího procesu při režimu 3. O účinnosti spalování nejlépe vypovídá koncentrace oxidu uhelnatého ve spalinách na výstupu ze sporáku. Jedná se o ten uhlík, který se nepodařilo dokonale spálit na oxid uhličitý. Koncentrace oxidu uhelnatého má v průběhu spalovacího cyklu dvě maxima [12]. Na počátku procesu po přiložení brikety je úbytek hořlaviny pozvolný, protože dochází k odpařování vody z paliva. V oblasti intenzivního hoření dochází ke strmému nárůstu teploty. Při intenzivním hoření dochází k velké spotřebě nejen hořlaviny v palivu, ale také kyslíku ze spalovacího vzduchu. Pro tuto oblast je typické snížení obsahu kyslíku ve spalinách. Oblast jsem v grafu vyznačil jako první maximum. Teplota v ohništi ke konci cyklu začíná klesat a zbylý uhlík v topeništi neshoří dokonale na oxid uhličitý, ale pouze na oxid uhelnatý, i když je kyslíku v ohništi nadbytek. Tuto oblast jsem v grafu vyznačil jako druhé maximum.



Graf 5- Cyklus spalovacího procesu dřevěné brikety při režimu 3

V tabulce 13 jsou popsány výsledky tří režimů prvního dne (18. 2. 2016). U prvního režimu se neodebíral vzorek spalin pro určení množství prachu. Režim 3 je brán jako optimální.

Parametr		Jednotka	Režim 1	Režim 2	Režim 3
Čas počátku měření		[hod:min]	11:30	13:14	14:53
Čas konce měření		[hod:min]	13:12	14:24	16:03
Délka zkoušky		[hod]	1,7	1,67	1,67
Palivo		[-]	Briketa EnergoTOP 2,00 kg	Briketa EnergoTOP 1,99 kg	Briketa EnergoTOP 1,75 kg
Spotřeba paliva		[kg/hod]	1,18	1,71	1,5
Primární vzduch [-]		[-]	¼	1/4	1/2
Přebytek vzduchu		[-]	2,79	2,79	2,82
Účinnost sporáku		[%]	80,84	83,29	84,55
Tepelný výkon sporáku		[kW]	5,05	7,16	5,79
Koncentrace O ₂ v suchých spalinách		[%]	13,5	13,5	13,5
Referenční obsah O ₂		[%]	13	13	13
Emise při O ₂ REF	CO	[mg/m ³ _N]	4486	2419	1680
	NO ₂	[mg/m ³ _N]	38	56	60
	TOC	[mg/m ³ _N]	564	212	101

Parametr		Jednotka	Režim 1	Režim 2	Režim 3
Emise při $O_{2\text{ REF}}$	prach	$[\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}]$	x	23	12

Tabulka 13- Režimy nastavení a emise

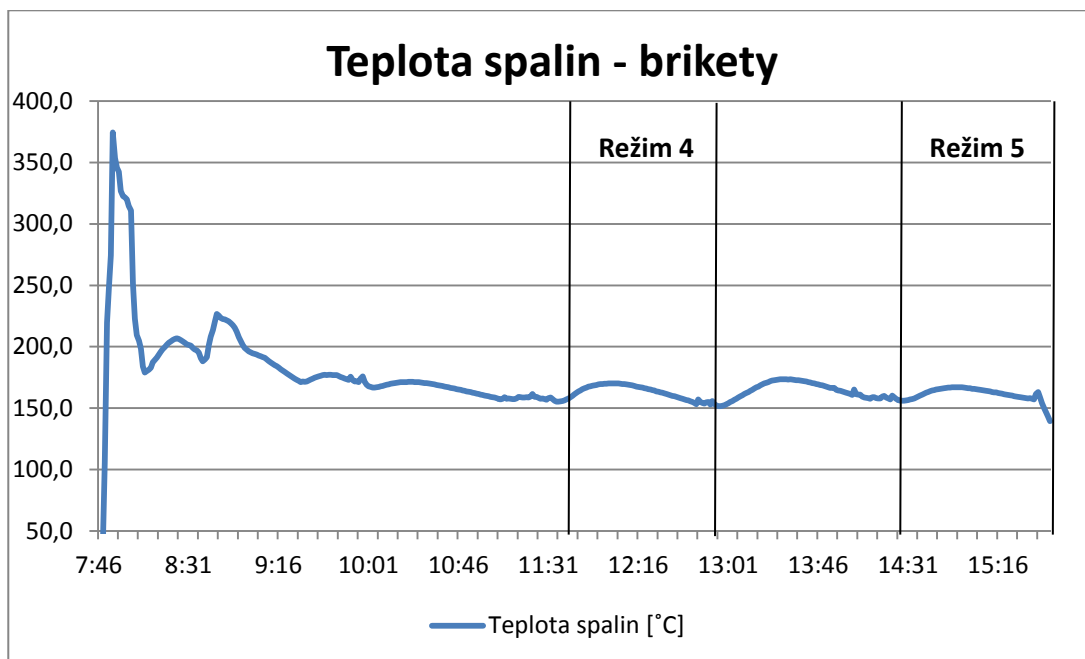
5.3.4 Zkoušení sporáku s použitím dřevěných briket

Zkoušení prototypu sporáku VSP s použitím dřevěných briket jsem provedl 19. 2. 2016. V době od 7:47 do 9:56 hod. probíhal zátop a doba před zkoušením. Pro zátop a dobu před zkoušením bylo použito suché bukové dřevo o hmotnosti 1,75 kg. Zátopová klapka byla po tuto dobu otevřená. Po dosažení ustáleného stavu sporáku došlo k uzavření zátopové klapky a následovala doba zkoušení s použitím briket BIOMAC ENERGO TOP o váze 1,75 kg. Vzduchová růžice pro přívod primárního vzduchu do topeniště byla během celého dne testování otevřena na polovinu (Obr. 24). Množství jednotlivých dávek paliva a nastavení vzduchové růžice jsem bral z optimálního nastavení při prvním dni měření (Režim 3). Na Obr. 25 je znázorněn náhled do topeniště sporáku VSP při spalování dřevěných briket.



Obr. 25 – Náhled do topeniště

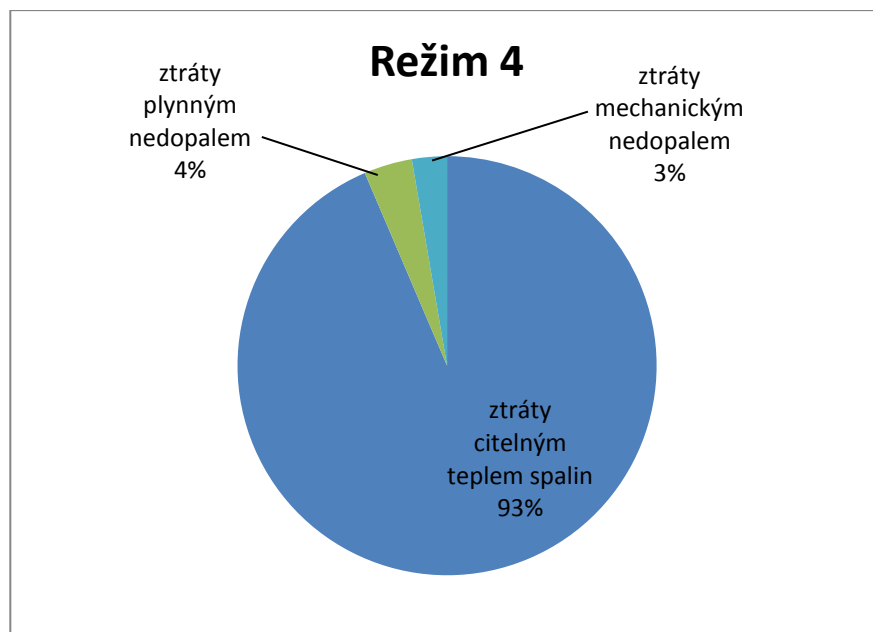
Celkem byly provedeny dvě platné zkoušky s označením režim 4 a režim 5, které jsou nutné pro výsledné výpočty zkoušek při jmenovitém tepelném výkonu. Tyto dvě platné zkoušky musí být dosaženy nejméně ze dvou dob zkoušení, vzniklých v jednotlivých případech, kterým předcházela doba před zkoušením, nebo nejméně ze dvou následných dodávek paliva [1]. Po ukončení režimu 4 nastala doba před zkoušením, po které následoval režim 5. Průběh teploty spalin během celého dne je vyznačen v grafu 6.



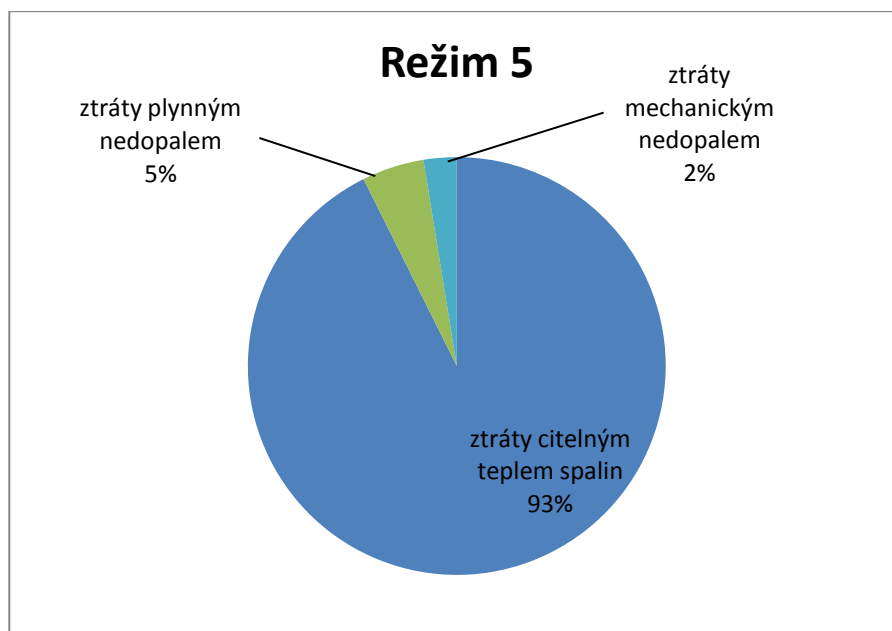
Graf 6 - Teplota spalin při spalování briketami

Z grafu 6 vyplývá, že po dosažení ustáleného stavu sporáku (okolo desáté hodiny) měl spalovací proces cyklický charakter. To znamená, že jednotlivé fáze při každém přiložení paliva se opakují. Průměrná teplota spalin se při režimech 4 a 5 pohybovala nad 150 °C.

V grafech 7 a 8 je procentuální poměr ztrát (citelným teplem spalin, plynným nedopalem a mechanickým nedopalem) při režimech 4 a 5. Z grafů vyplývá, že dominantní zastoupení má ztráta citelným teplem spalin.

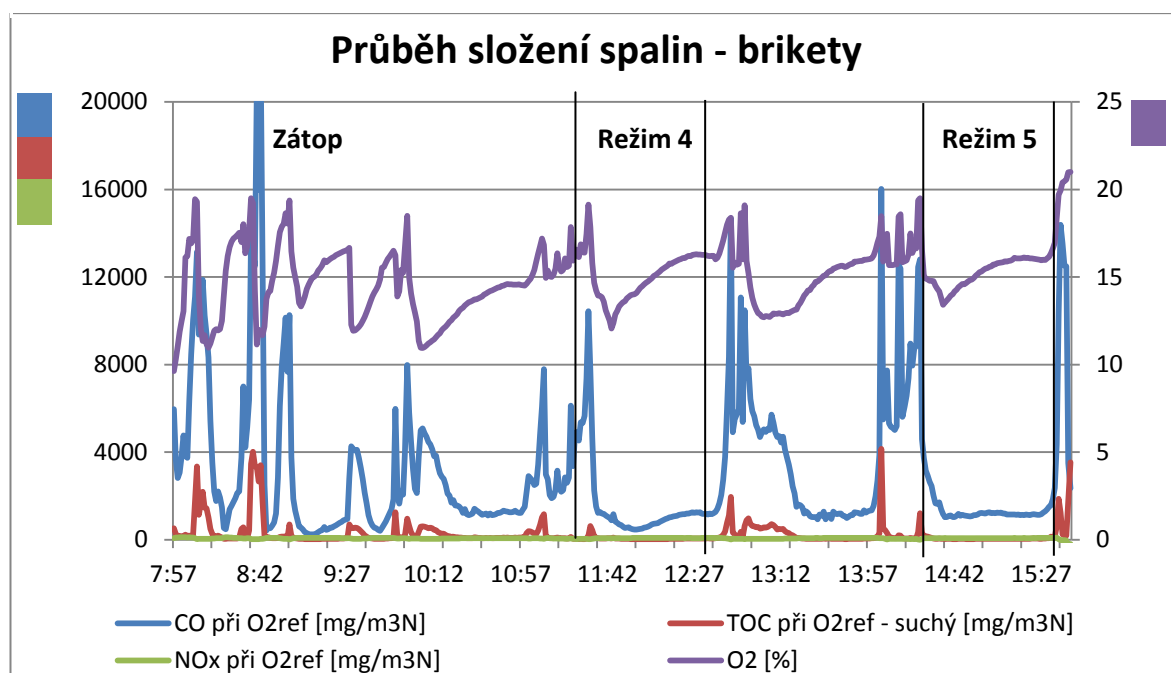


Graf 7 – Procentuální zastoupení ztrát při režimu 5



Graf 8- Procentuální zastoupení ztrát při režimu 6

V grafu 9 jsou na hlavní ose vyznačeny průběhy emisí CO (modrá), TOC (červená) a NO_x (zelená) při referenčním obsahu O₂ 13 %. Na vedlejší ose je průběh O₂ (fialová). I zde lze vypořizovat, že spalovací proces měl cyklický charakter.



Graf 9 - Průběh složení spalin – brikety

V tabulce 14 jsou uvedeny výpočty dvou platných zkoušek z druhého dne měření (Režim 4 a Režim 5), které jsem vypočetl dle normy ČSN EN 12815:2002 a změny A1:2005, kapitola A 6. V tabulce jsou také uvedeny emise (CO, CO₂, NO₂, TOC, prach) při referenčním obsahu O₂ 13 %. Dále jsou v tabulce uvedeny hodnoty emisí CO, NO₂, TOC a prachu v jednotkách mg/MJ, potřebné pro porovnání rakouských legislativních požadavků. Výpočty emisí jsou uvedeny v kap. 5.2 pro režim 4.

Parametr	Jednotka	Režim 4	Režim 5	Průměr
Čas počátku měření	[hod:min]	11:32	14:23	-
Čas konce měření	[hod:min]	12:40	15:32	-
Délka zkoušky	[hod]	1,13	1,15	1,14
Palivo	[-]	Briketa EnergoTOP 1,75 kg	Briketa EnergoTOP 1,75 kg	Briketa EnergoTOP 1,75 kg
Spotřeba paliva	[kg/hod]	1,54	1,52	1,53
Hmotnostní průtok vlhkých spalin	[g/s]	8,14	8,50	8,32
Tepelný výkon sporáku	[kW]	5,78	5,62	5,70

Parametr		Jednotka	Režim 4	Režim 5	Průměr
Příkon sporáku		[kW]	7,09	6,98	7,04
Účinnost zařízení		[%]	81,57	80,55	81,06
Ztráta citelným teplem spalin		[%]	17,25	18,02	17,64
Ztráta plynným nedopalem		[%]	0,69	0,94	0,82
Ztráta mechanický nedopalem		[%]	0,50	0,50	0,50
Teplota spalin		[°C]	164	162	163
Tah komína		[Pa]	11,6	11,5	11,60
Přebytek vzduchu		[-]	3,49	3,71	3,60
Koncentrace O ₂ v suchých spalinách		[%]	15	15,3	15,15
Referenční obsah O ₂		[%]	13	13	13
Emise při O ₂ REF	CO	[mg/m ³ _N]	1040	1429	1238
	CO ₂	[g/m ³ _N]	115	108	112
	NO ₂	[mg/m ³ _N]	70	69	70
	TOC	[mg/m ³ _N]	47	48	48
	prach	[mg/m ³ _N]	14	26	20
Emise	CO	[mg/MJ]	731	939	835
	NO ₂	[mg/MJ]	49	46	47
	TOC	[mg/MJ]	33	32	33
	prach	[mg/MJ]	12	24	18

Tabulka 14 – Výsledná tabulka při spalování briket

V tabulce 15 jsou porovnány legislativní požadavky s režimy 4 a 5 získaných ze spalovacích zkoušek při spalování dřevěnými briketami. Výpočet sezónní energetické účinnosti pro režim 4 je vypočten v kap. 5.2.

Z výsledné tabulky vyplývá, že sporák při režimech 4 a 5 splňuje z pohledu emisí CO a účinnosti technické požadavky normy ČSN EN 12815 a z pohledu emisí CO, prachu a účinnosti také německou vyhlášku 1. BImSchV Stufe 2. Z výsledné tabulky dále vyplývá, že se splněním rakouské vyhlášky 15a B-VG a parametry pro Ekodesign neměly režimy 4 a 5 problém.

	Limit	Hodnota	Režim 4	Režim 5
Obecné emisní limity v EU	CO [%]	1,0	0,08	0,11
	Minimální účinnost [%]	60	81,57	80,55
Německo	Prach [mg/m³_N]	40	14	26
	CO [mg/m³_N]	1500	1047	1429
	Minimální účinnost [%]	75	81,57	80,55
Rakousko	CO [mg/MJ]	1100	731	939
	NO₂ [mg/MJ]	100	49	46
	TOC [mg/MJ]	50	33	32
	Prach [mg/MJ]	35	12	24
	Minimální účinnost [%]	72	81,57	80,55
Parametry pro Ekodesign od 1. 1. 2022	Sezónní energetická účinnost [%]	65	71,57	70,55
	TOC [mg/m³_N]	120	47	48
	NO₂ [mg/m³_N]	200	70	69
	CO [mg/m³_N]	1500	1047	1429

Tabulka 15 – Porovnání legislativních požadavků s režimy 4 a 5

5.3.5 Zkoušení sporáku s použitím bukového dřeva

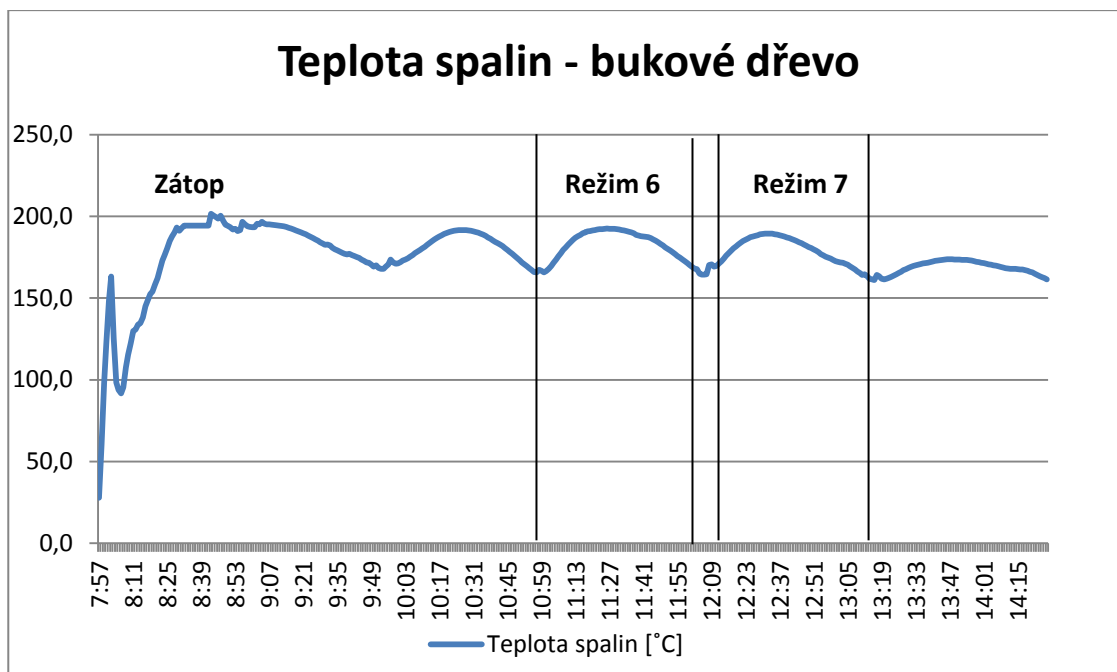
Zkoušení prototypu sporáku VSP s použitím suchého bukového dříví jsem provedl 3. 3. 2016. V době od 7:56 do 9:55 hod. probíhal zátop a doba před zkoušením. Pro zátop a dobu před zkoušením jsem použil suché bukové dřevo, stejně jako u zkoušení s dřevěnými briketami. Po dosažení ustáleného stavu sporáku došlo k uzavření zátopové klapky a následovala doba zkoušení s použitím suchých bukových polen o váze 1,75 kg. Vzduchová růžice pro přívod primárního vzduchu do topeniště byla během celého dne testování otevřena na polovinu (Obr. 24). Na Obr. 26 je znázorněn náhled do topeniště při spalování bukovým dřevem.



Obr. 26 - Náhled do topeniště při spalování bukovým dřevem

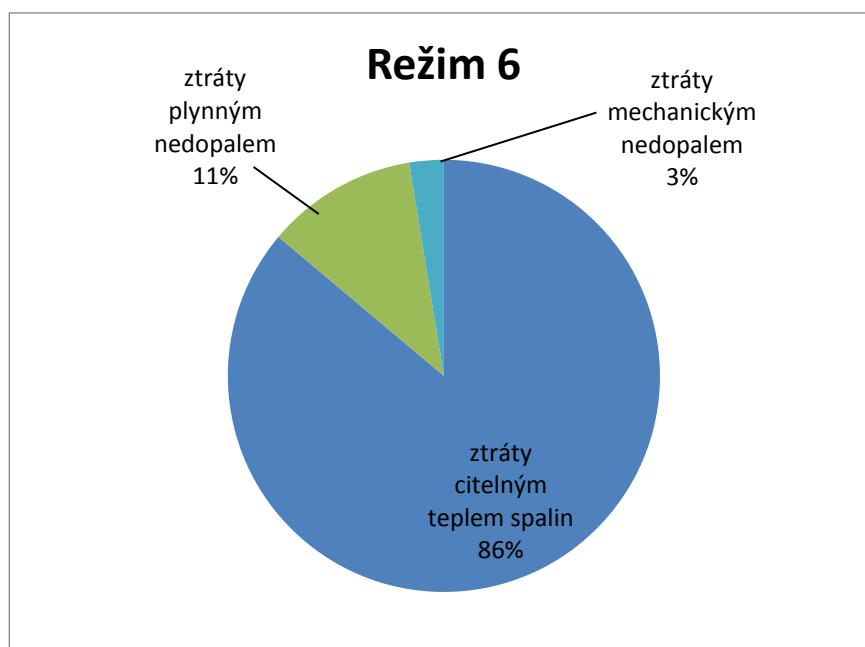
Celkem byly provedeny dvě platné zkoušky s označením režim 6 a režim 7, které jsou nutné pro výsledné výpočty zkoušek, při jmenovitém tepelném výkonu. Tyto dvě platné zkoušky byly dosaženy ze dvou následných dodávek paliva. Po ukončení režimu 6 ihned následoval režim 7.

Průběh teploty spalin během celého dne je vyznačen v grafu 10. Při spalování bukovým dřevem se průměrná teplota spalin při režimech 6 a 7 pohybovala okolo 180 °C. Teplota spalin při těchto režimech byla zhruba o 20 °C vyšší než u spalování briket. Po dosažení ustáleného stavu sporáku kolem desáté hodiny, měl spalovací proces cyklický charakter.

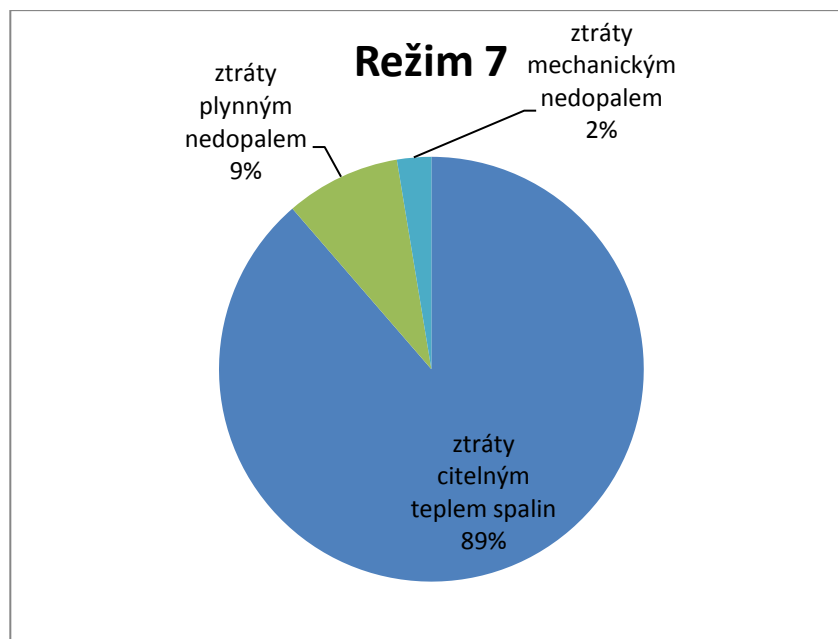


Graf 10 – Teplota spalin při spalování dřevem

V grafech 11 a 12 je procentuální poměr ztrát (citelným teplem spalin, plynným nedopalem, mechanickým nedopalem) pro režim 6 a režim 7. Z grafů vyplývá, že největší zastoupení má opět ztráta citelným teplem spalin. Ztráta plynným nedopalem je zhruba o 6 % vyšší než u spalování dřevěných briket.

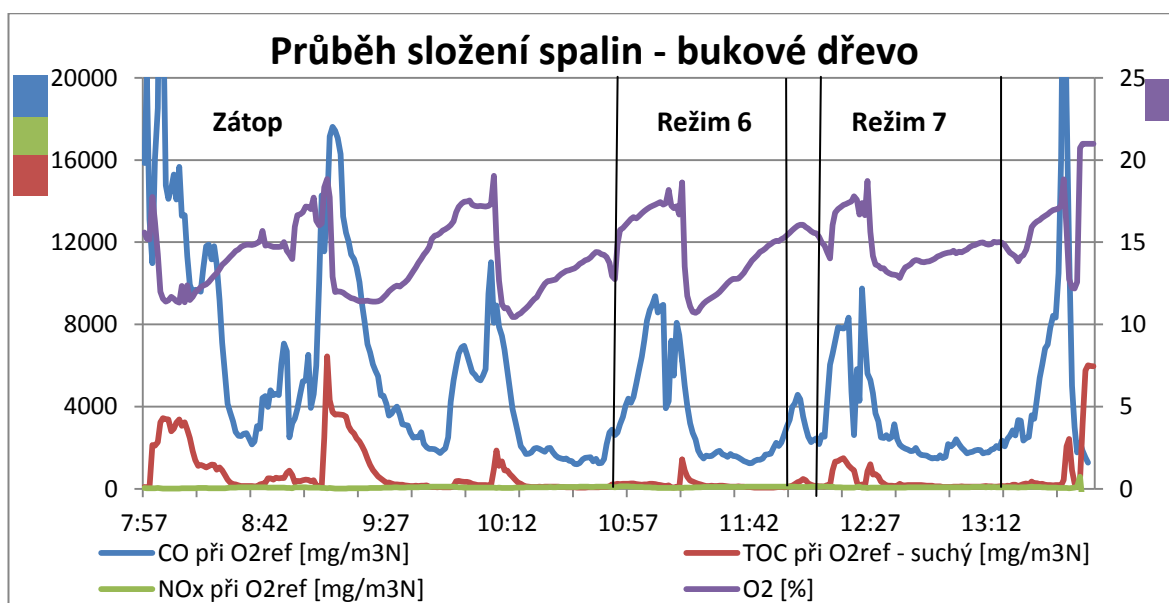


Graf 11 - Procentuální zastoupení ztrát při režimu 6



Graf 12 - Procentuální zastoupení ztrát při režimu 7

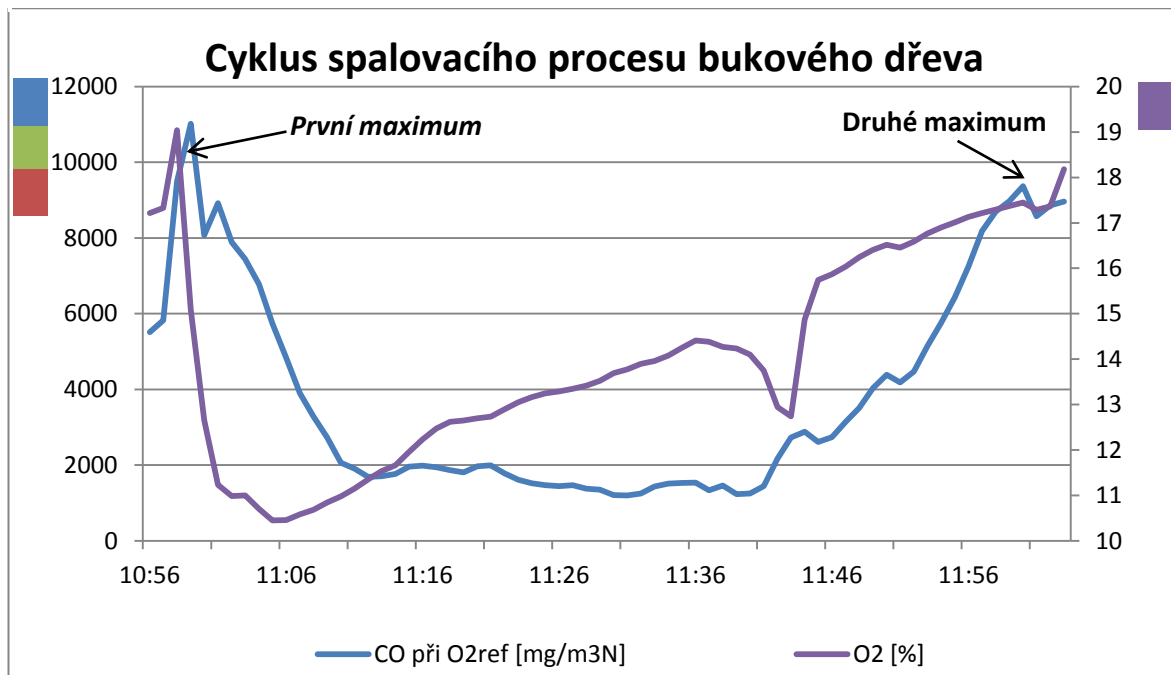
V grafu 13 jsou na hlavní ose vyznačeny průběhy emisí CO (modrá), TOC (červená) a NOx (zelená) při referenčním obsahu O₂ 13 %. Na vedlejší ose je průběh O₂ (fialová).



Graf 13 Průběh složení spalin – bukové dřevo

V grafu 14 je znázorněn cyklus spalovacího procesu bukového dřeva při režimu 6. Tento cyklus je velmi podobný procesu při spalování dřevěných briket, který jsem popsal v kapitole 5.3.3. Koncentrace oxidu uhelnatého ve spalinách má také během celého spalovacího cyklu dvě maxima. První se nachází v oblasti intenzivního hoření a druhé když

teplota v ohništi začne klesat a zbylý uhlík v topeništi neshoří dokonale. Obě maxima spalovacího cyklu jsem vyznačil v grafu 12.



Graf 14 - Cyklus spalovacího procesu dřevěných briket při režimu 6

V tabulce 16 jsou uvedeny výpočty dvou platných zkoušek z třetího dne měření (Režim 6 a Režim 7), které jsem vypočetl dle normy ČSN EN 12815:2002 a změny A1:2005, kapitola A 6. V tabulce jsou také uvedeny emise (CO, CO₂, NO₂, TOC, prach) při referenčním obsahu O₂ 13 %. Dále jsou v tabulce uvedeny hodnoty emisí CO, NO₂, TOC a prachu v jednotkách mg/MJ, potřebné pro porovnání rakouských legislativních požadavků.

Parametr	Jednotka	Režim 6	Režim 7	Průměr
Čas počátku měření	[hod:min]	10:58	12:09	-
Čas konce měření	[hod:min]	12:01	13:10	-
Délka zkoušky	[hod]	1,05	1,02	1,04
Palivo	[-]	Bukové poleno 1,75 kg	Bukové poleno 1,75 kg	Bukové poleno 1,75 kg
Spotřeba paliva	[kg/hod]	1,67	1,72	1,70
Hmotnostní průtok vlhkých spalin	[g/s]	7,31	7,87	7,59
Měrný výkon sporáku	[kW]	6,13	6,35	6,24

Parametr		Jednotka	Režim 6	Režim 7	Průměr
Příkon sporáku		[kW]	7,61	7,86	7,74
Účinnost zařízení		[%]	80,62	80,80	80,71
Ztráta citelným teplem spalin		[%]	16,69	17,02	16,86
Ztráta plynným nedopalem		[%]	2,19	1,68	1,935
Ztráta mechanický nedopalem		[%]	0,5	0,5	0,5
Teplota spalin		[°C]	184	180	182
Tah komína		[Pa]	11,7	11,7	11,7
Přebytek vzduchu		[-]	2,91	3,05	2,98
Koncentrace O ₂ v suchých spalinách		[%]	13,8	14,1	13,95
Referenční obsah O ₂		[%]	13	13	13
Emise při O ₂ REF	CO	[mg/m ³ _N]	3321	2564	2942
	CO ₂	[g/m ³ _N]	135	131	133
	NO ₂	[mg/m ³ _N]	79	92	86
	TOC	[mg/m ³ _N]	236	214	225
	Prach	[mg/m ³ _N]	62	59	60,5
Emise	CO	[mg/MJ]	2331	1715	2023
	NO ₂	[mg/MJ]	55	62	59
	TOC	[mg/MJ]	166	143	155
	prach	[mg/MJ]	54	47	51

Tabulka 16 – Výsledná tabulka při spalování dřevem

V tabulce 17 jsou porovnány legislativní požadavky s režimy 6 a 7 získaných ze spalovacích zkoušek při spalování bukovým dřevem.

Z výsledné tabulky vyplývá, že sporák při režimech 6 a 7 splňuje v plné míře pouze technické požadavky normy ČSN EN 12815. U dalších legislativních požadavků byl problém především při splnění emisí CO, uhlovodíků a prachu. V tabulce jsem červenou barvou zvýraznil všechny limity, které sporák nesplňuje.

Jediné, kde nebyl problém se splněním legislativních požadavků, byla minimální účinnost (pro Německo a Rakousko), sezónní energetická účinnost (parametry pro Ekodesign) a emise NO₂ (Rakousko a parametry pro Ekodesign).

Z těchto důvodů nelze doporučit bukové dřevo jako doporučené palivo pro tento prototyp sporáku VSP.

	Limit	Hodnota	Režim 6	Režim 7
Obecné emisní limity v EU	CO [%]	1,0	0,27	0,21
	Minimální účinnost [%]	60	80,62	80,80
Německo	Prach [mg/m ³ _N]	40	62	59
	CO [mg/m ³ _N]	1500	3321	2564
	Minimální účinnost [%]	75	80,62	80,80
Rakousko	CO [mg/MJ]	1100	2331	1715
	NO ₂ [mg/MJ]	100	55	62
	TOC [mg/MJ]	50	166	143
	Prach [mg/MJ]	35	54	47
	Minimální účinnost [%]	72	80,62	80,80
Parametry pro Ekodesign od 1. 1. 2022	Sezónní energetická účinnost [%]	65	70,62	70,80
	TOC [mg/m ³ _N]	120	236	214
	NO ₂ [mg/m ³ _N]	200	79	92
	CO [mg/m ³ _N]	1500	3321	2564

Tabulka 17 – Porovnání legislativních požadavků s režimy 6 a 7

V tabulce 18 jsou uvedeny maximální hodnoty oteplení jednotlivých ovládacích prvků na testovaném sporáku. Dle normy je maximální možné oteplení u plastů, pryže nebo dřeva 60 Kelvinů. Protože oteplení na páce zátopové klapky (T6) převyšuje tuto hodnotu, musí výrobce zajistit obslužné nářadí (rukavice).

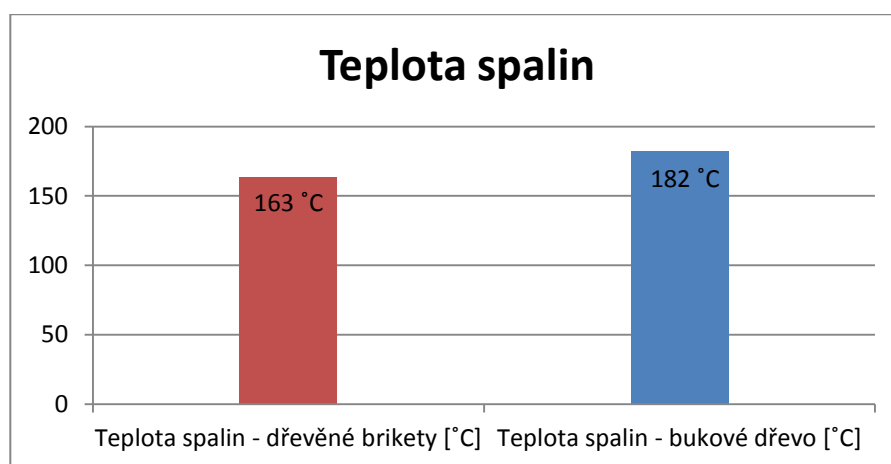
Oteplení	Jednotka	Režim 4	Režim 5	Režim 6	Režim 7
Oteplení T1	[K]	29,2	27,7	26,0	31,5
Oteplení T2	[K]	40,8	38,6	47,2	47,0
Oteplení T3	[K]	12,1	11,9	13,6	13,6
Oteplení T4	[K]	13,5	13,6	14,6	14,7
Oteplení T5	[K]	19,0	18,9	20,8	20,9
Oteplení T6	[K]	69,6	65,3	78,4	77,0

Tabulka 18 – Oteplení povrchu ovládacích prvků

5.4 Porovnání dřevěných briket a bukového dřeva při zkouškách jmenovitého výkonu

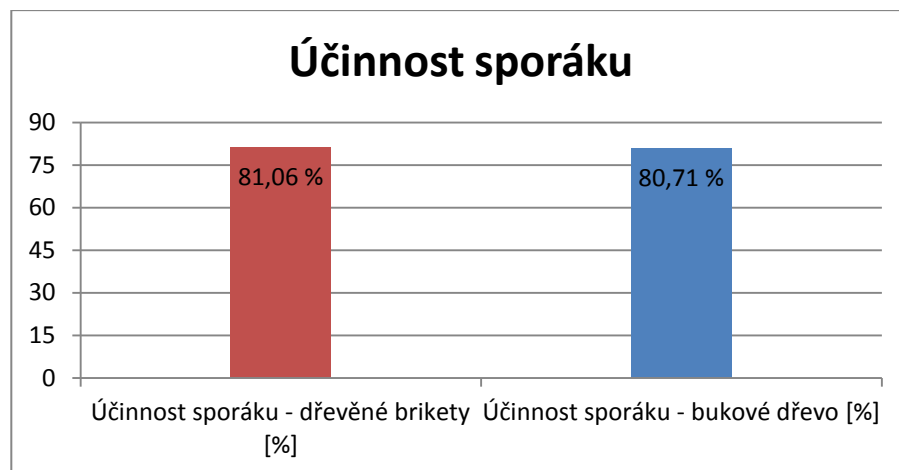
Při porovnání dřevěných briket a bukového dřeva při zkouškách jmenovitého výkonu jsem vycházel z průměrných vypočtených hodnot režimů 4 a 5 pro dřevěné brikety a z režimů 6 a 7 pro bukové dřevo.

Při spalování bukovým dřevem docházelo k rychlejšímu spalovacímu procesu a kratší době hoření. Díky tomuto faktu se dosahovalo vyšší teploty spalin (Graf 15) a vyššímu výkonu sporáku (Graf 17), než tomu bylo u spalování s použitím dřevěných briket.

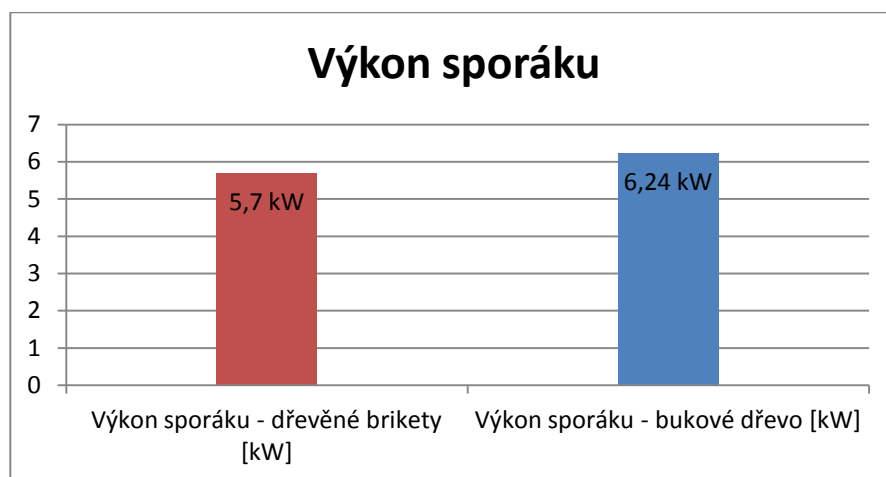


Graf 15 - Porovnání teplot spalin

I když teplota spalin byla při spalování dřevem vyšší, účinnost se nikterak nelišila. V obou případech dosahovala hodnoty okolo 81 % (Graf 16). Bylo to dáno především tím, že při spalování briket, které hořely stabilněji a pomaleji, vznikalo větší množství spalin (vyšší přebytek vzduchu znamenal větší podíl kyslíku ve spalinách).

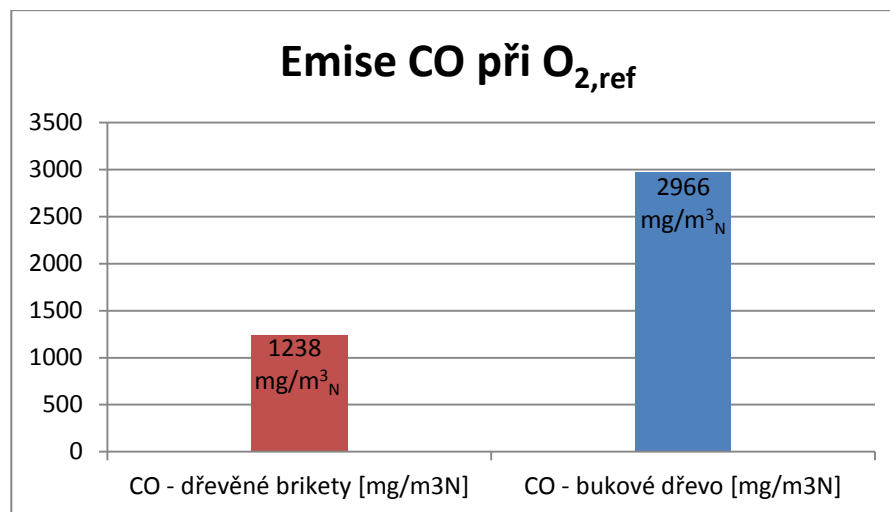


Graf 16 – Porovnání účinností sporáku

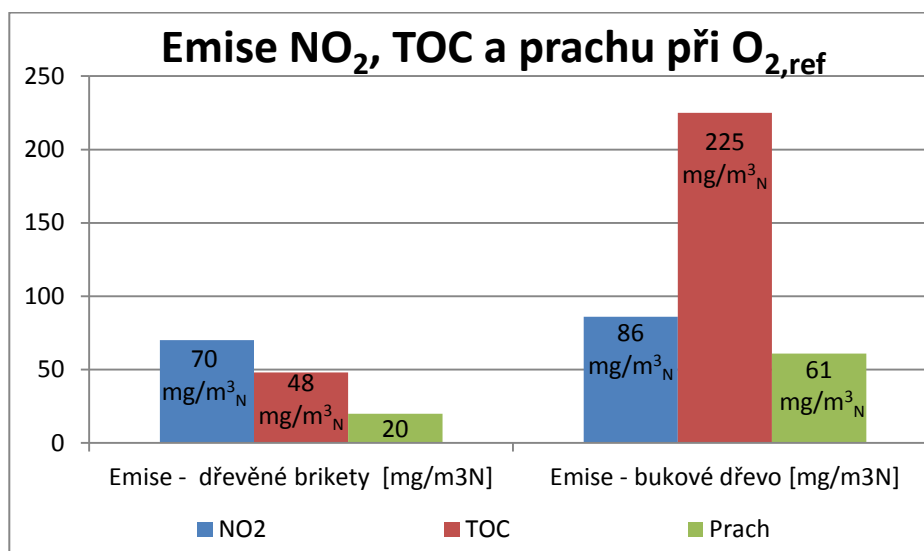


Graf 17 – Porovnání výkonu sporáku

Na grafech 18 a 19 jsou porovnány emise CO, NO₂, TOC a prachu, při referenčním obsahu O₂ 13%. Z grafů vyplývá, že při spalování dřevem (sloupce vpravo) vznikaly daleko vyšší emise CO, TOC a prachu. Při porovnání emisí NO₂ nebyl rozdíl tak výrazný.



Graf 18- Porovnání emisí CO při $O_{2,ref}$ 13%



Graf 19 - Porovnání emisí NO₂, TOC a prachu při $O_{2,ref}$ 13%

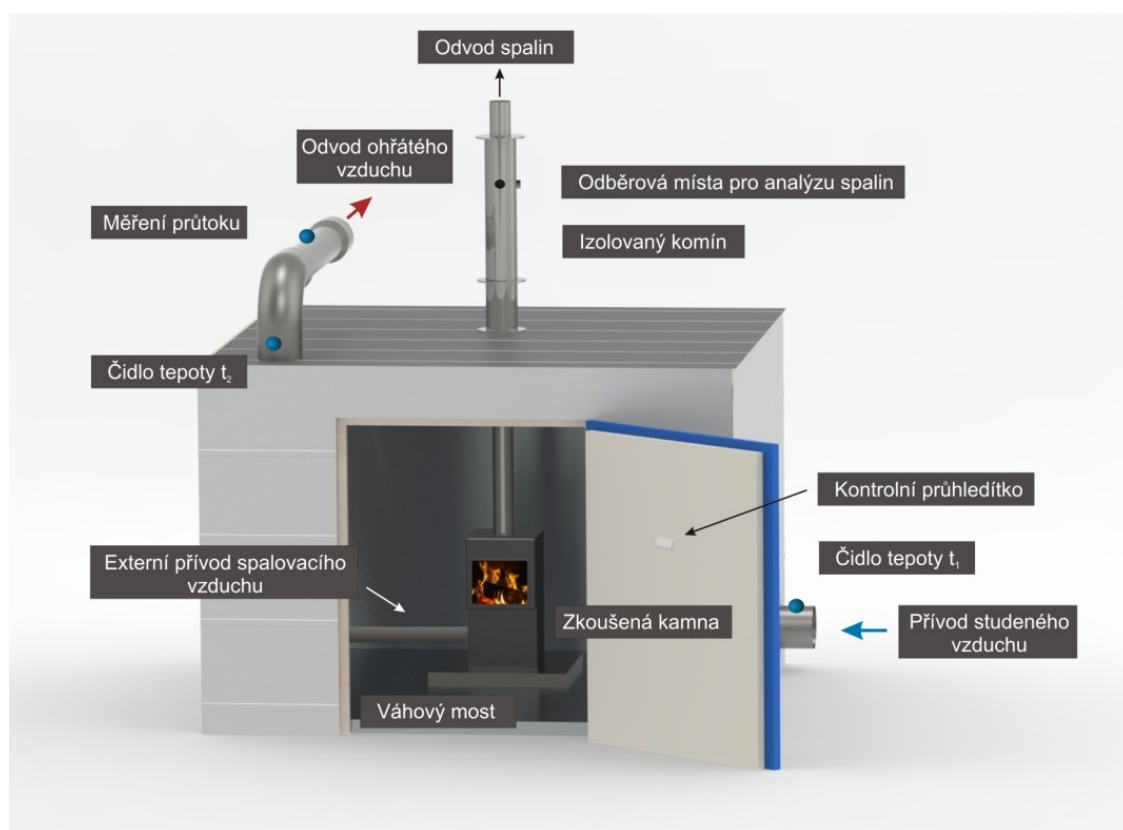
5.5 Zkoušení varného spotřebiče v kalorimetrické komoře

Zkoušení prototypu sporáku VSP v kalorimetrické komoře proběhlo 15. 4. 2016 a 19. 4. 2016 ve zkušebně spalovacích zařízení (budova 3) Výzkumného energetického centra (VEC) v Ostravě.

Zkoušení v kalorimetrické komoře proběhlo zejména proto, aby byl porovnán průběh tepelného výkonu při nuceném a přirozeném tahu. Nucený tah byl udržován odtahovým ventilátorem okolo hranice 12 Pa. Přirozený tah simuloval skutečné podmínky při provozování.

Kalorimetrická komora je tepelně izolovaný prostor, ve které je umístěn testovaný

sporák a slouží ke stanovení provozních parametrů lokálních spotřebičů spalující tuhá paliva [18]. Princip měření spočívá v tom, že do komory je přiváděno potrubím známé množství studeného vzduchu, zároveň je z komory odváděn ohřátý vzduch a na základě tepelné bilance je vypočten okamžitý tepelný výkon spotřebiče [18]. Průtok vzduchu komorou je udržován konstantní, pomocí PID regulátoru a frekvenčně řízeného ventilátoru. Vnitřní povrch kalorimetrické komory je pokryt odrazivou fólií, která minimalizuje akumulaci tepelné energie do konstrukce komory [18]. Před zkoušením byla kalorimetrická místnost kalibrována pomocí dvou elektrických konvektorů (přímotopů) v předpokládaném rozsahu výkonu sporáku (0 až 8 kW). Schéma kalorimetrické komory je na Obr. 27.



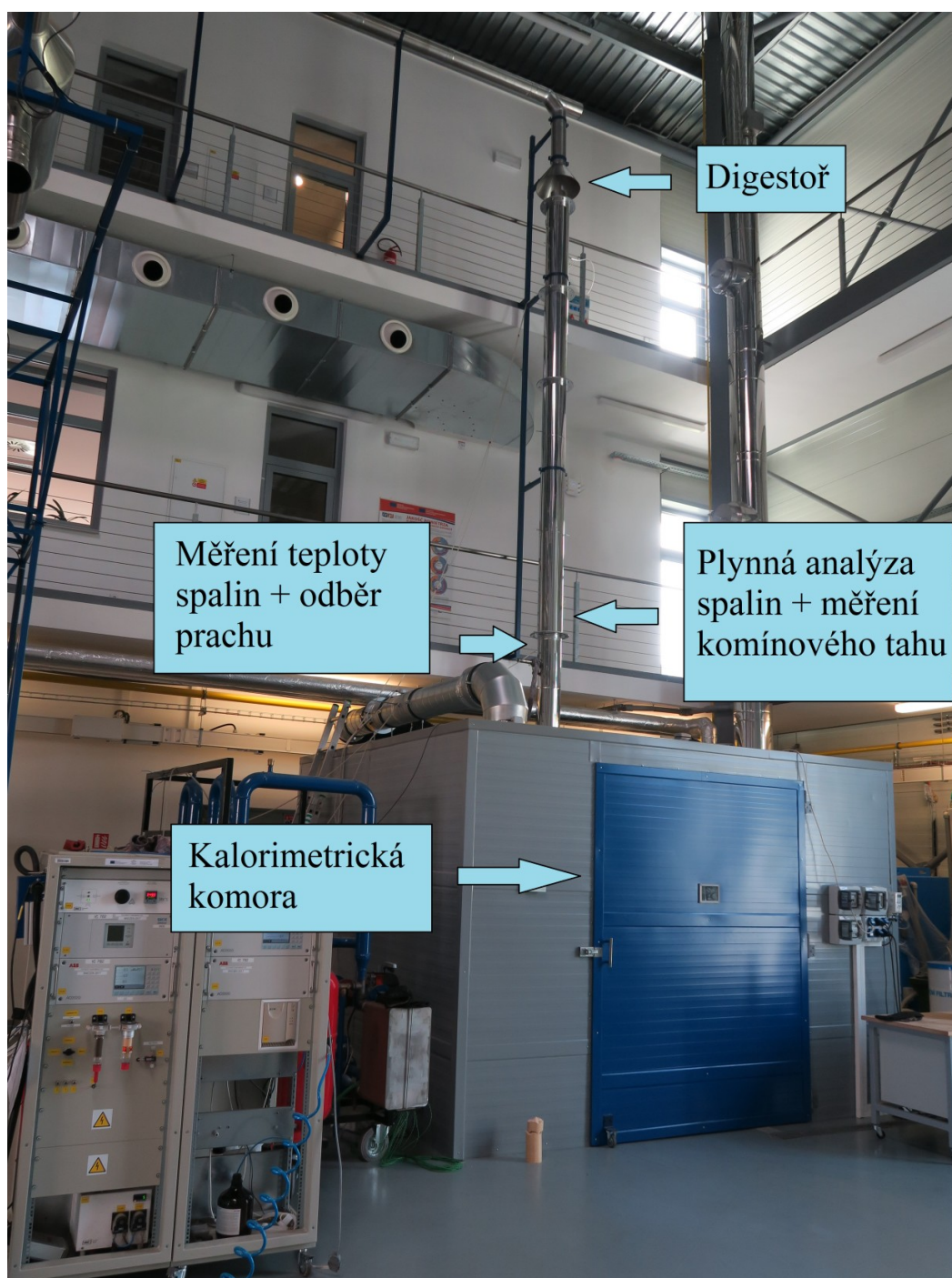
Obr. 27- Kalorimetrická komora [18]

5.5.1 Příprava experimentálního stanoviště

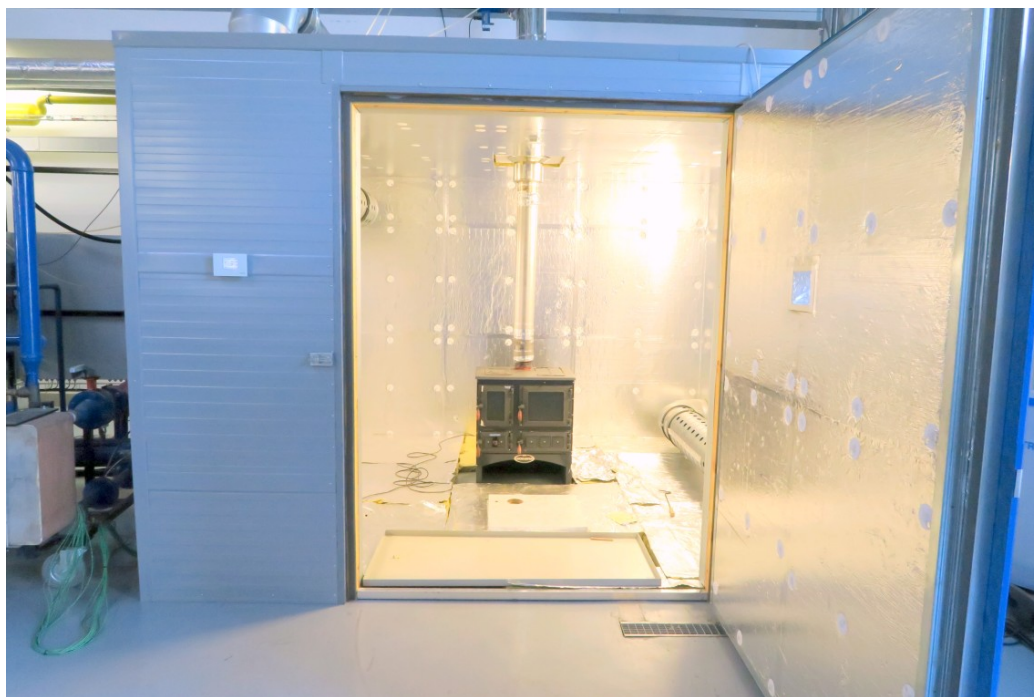
Nejprve byl prototyp sporáku VSP umístěn do kalorimetrické komory (Obr. 29). Následně bylo hrdlo sporáku napojeno na neizolovanou část kouřovodu (130 cm), která byla celou délkou umístěna v kalorimetrické komoře. Izolovaná měřicí část kouřovodu už byla mimo komoru. Celková délka měřicí trati včetně neizolované části byla 7,45 m.

Volné spojení kouřovodu s komínem bylo zajištěno ředícím tunelem.

Pro měření komínového tahu, koncentrace znečišťujících látek ve spalinách, analýzy spalin a teploty spalin, byly použity stejné přístroje a zařízení, jako u zkoušení provozních vlastností při jmenovitém tepelném výkonu, viz kap. 5.3.2. Na Obr. 28 je znázornění odběrových míst pro plynou analýzu, měření prachu, měření komínového tahu a teploty spalin.



Obr. 28 – Znázornění odběrových míst



Obr. 29 – Sporák umístěný v kalorimetrické komoře

5.5.2 Zkoušení sporáku při nuceném tahu

Dne 15. 4. 2016 bylo provedeno měření průběhu tepelného výkonu prototypu sporáku VSP v kalorimetrické komoře při nuceném tahu. Nucený tah se udržoval odtahovým ventilátorem (Obr. 30) umístěným za ředícím tunelem. Podtlak v komíně se udržoval na hodnotě – 12 Pa.



Obr. 30 – Odtahový ventilátor

V době od 8: 30 do 9:22 hod. probíhal zátop a uvádění sporáku do ustáleného stavu, pro který bylo použito suché bukové dřevo (Obr. 31). Během této doby byla zátopová klapka otevřená. Po dosažení ustáleného stavu sporáku došlo k uzavření zátopové klapky a následovala doba zkoušení s použitím dřevěných briket BIOMAC ENERGO TOP. Vzduchová růžice pro přívod primárního vzduchu do topeniště byla během celého dne testování otevřena na polovinu (Obr. 24). Množství jednotlivých dávek paliva a nastavení vzduchové růžice jsem bral z optimálního nastavení při prvním dni měření (Režim 3). Celkem se během zkoušení přiložily čtyři brikety, každá o váze 1,75 kg. Jen u prvního přiložení se neměřila koncentrace prachu ve spalinách. Vyhodnocení koncentrace prachu při referenčním obsahu kyslíku je uvedeno v tabulce 20.

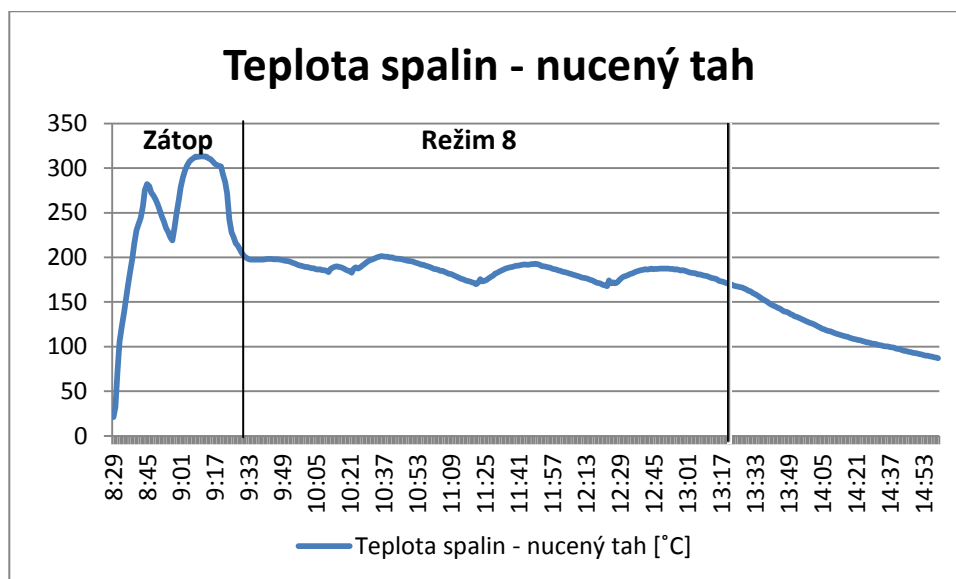


Obr. 31 – Zátop

Protože sporák nebyl opatřen prosklenými příkládacími dvířky, nebylo možné kontrolovat proces hoření a pro ukončení jednotlivých režimů byl nutný náhled do topeniště. Náhled se u bukového dřeva prováděl vždy, když koncentrace CO_2 ve spalinách byla nižší než 4 %. Pod touto hodnotou začal plamen uhasínat a rychle se snižovala teplota spalin. U dřevěných briket byl náhled do topeniště prováděn při 3%

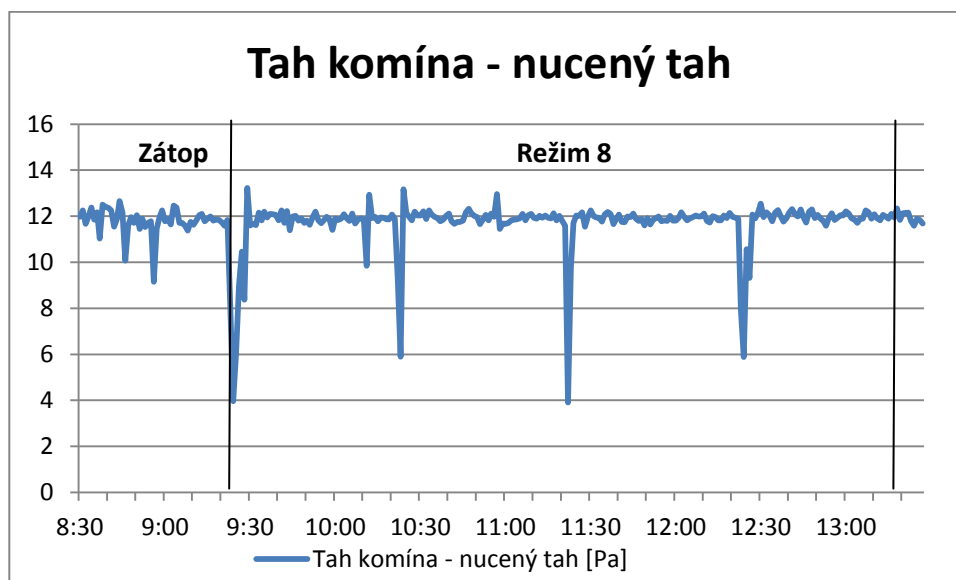
koncentraci CO₂ ve spalínách pro stejné důvody.

V grafu 20 je vyznačena teplota spalín při nuceném tahu.



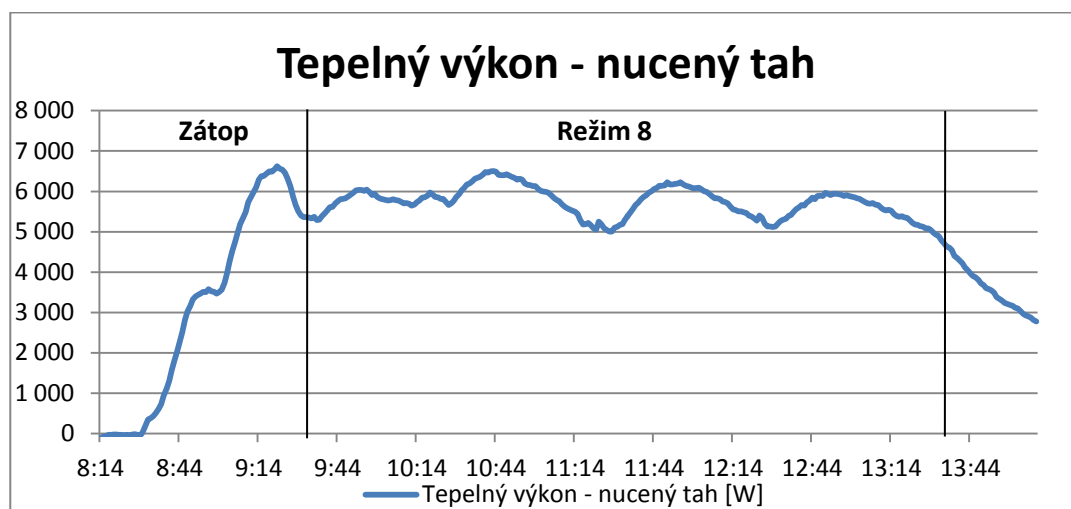
Graf 20-Teplota spalín při nuceném tahu

V grafu 21 je vyznačen tah komína při nuceném tahu, který se udržoval okolo hodnoty 12 Pa. Krátkodobé odchylky v grafu jsou způsobeny otevíráním příkladacích dvířek při přikládání nové dávky paliva.



Graf 21- Tah komína při nuceném tahu

V grafu 22 je vyobrazen tepelný výkon sporáku při nuceném tahu, předaný do kalorimetrické místnosti během celého dne zkoušení. Plocha pod křivkou představuje předanou energii do prostoru.



Graf 22- Tepelný výkon sporáku při nuceném tahu

V tabulce 19 jsou uvedeny výpočty pro režim 8, které jsem vypočetl dle normy ČSN EN 12815:2002 a změny A1:2005, kapitola A 6. Jedná se o hodnoty naměřené v době od 9:23 do 13:27 hod. V této době již byl sporák v ustáleném stavu a palivem byly pouze dřevěné brikety.

Parametr	Jednotka	Režim 8
Čas počátku měření	[hod:min]	9:23
Čas konce měření	[hod:min]	13:27
Palivo	[-]	Brikety EnergoTOP
Spotřeba paliva	[kg/hod]	1,75
Hmotnostní průtok vlhkých spalin	[g/s]	11,08
Tepelný výkon sporáku dle normy ČSN 12815	[kW]	6,06
Tepelný výkon sporáku dle kalorimetrické komory	[kW]	5,75
Příkon sporáku	[kW]	7,91
Účinnost sporáku nepřímou metodou	[%]	75,68
Účinnost sporáku přímou metodou	[%]	72,70
Ztráta citelným teplem spalin	[%]	23,10
Ztráta plynným nedopalem	[%]	0,71
Ztráta mechanický nedopalem	[%]	0,50
Teplota spalin	[°C]	187,4

Parametr		Jednotka	Režim 8
Tah komína		[Pa]	11,7
Přebytek vzduchu		[-]	4,19
Koncentrace O ₂ v suchých spalínách		[%]	16,0
Referenční obsah O ₂		[%]	13
Emise při O ₂ REF	CO	[mg/m ³ _N]	1071
	NO ₂	[mg/m ³ _N]	86
	TOC	[mg/m ³ _N]	85
	Prach	[mg/m ³ _N]	39

Tabulka 19 - Výsledná tabulka při nuceném tahu

5.5.3 Zkoušení sporáku při přirozeném tahu

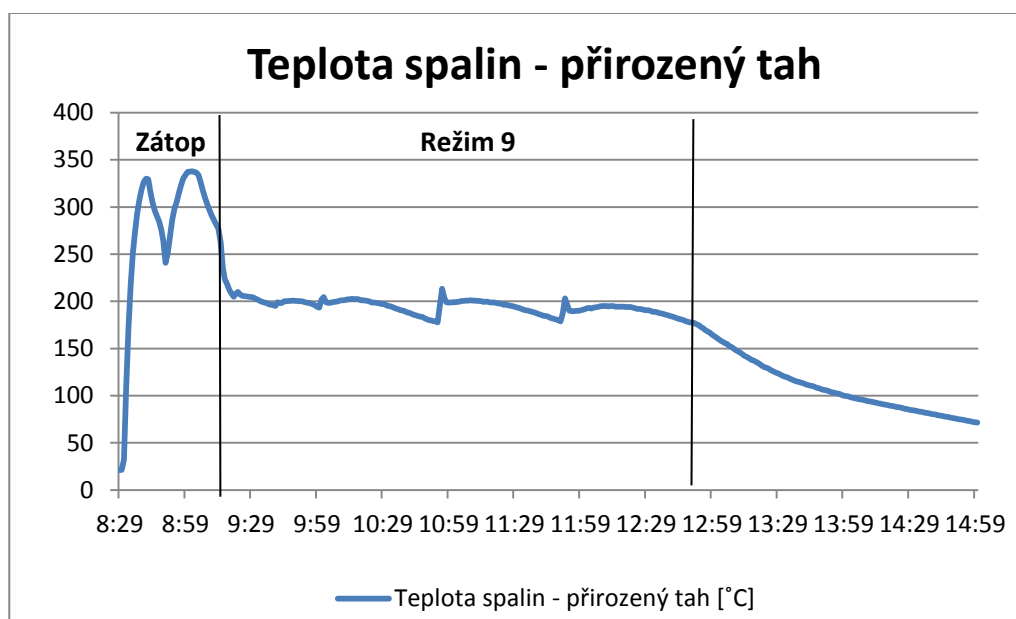
Dne 19. 4. 2016 bylo provedeno měření průběhu tepelného výkonu prototypu sporáku VSP v kalorimetrické komoře při přirozeném tahu. Pro dodržení přirozeného tahu byla digestoř nastavena tak, aby odsávání spalin neovlivňovalo tah komínu. Tato vzdálenost byla přibližně 20 cm od kouřovodu. Nastavení digestoře je vyobrazeno na Obr. 32.

Pro zátop a uvedení sporáku do ustáleného stavu byl použit stejný postup jako u měření při přirozeném tahu. Zátopová klapka byla otevřená a pro zátop bylo použito bukové dřevo. Vzduchová růžice byla během celého dne testování otevřena na polovinu. Celkem se během zkoušení přiložily čtyři brikety, každá o váze 1,75 kg. I zde se měřila koncentrace prachu až od druhého přiložení brikety. Vyhodnocení koncentrace prachu při referenčním obsahu kyslíku je uvedeno v tabulce 20.



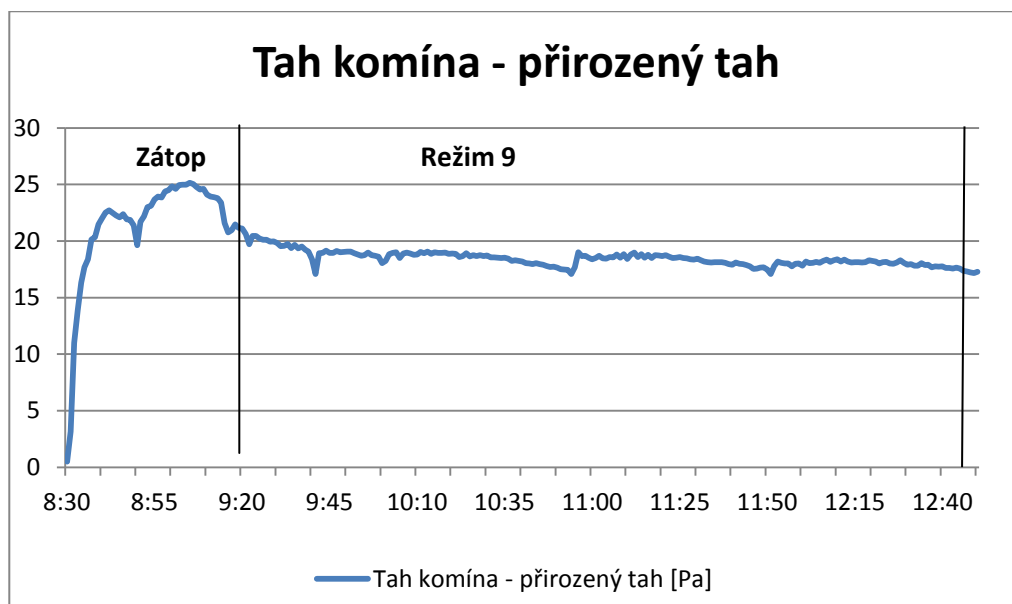
Obr. 32 – Nastavení digestoře pro přirozený tah

Jednotlivé režimy byly taktéž ukončeny při nahlédnutí do topeniště. Stejně jako při zkoušení s nuceným tahem se náhled u bukového dřeva prováděl tehdy, když koncentrace CO_2 ve spalínách byla nižší než 4 %. Náhled u dřevěných briket se prováděl při 3% koncentraci CO_2 ve spalínách. V grafu 23 je vyznačena teplota spalín při přirozeném tahu.



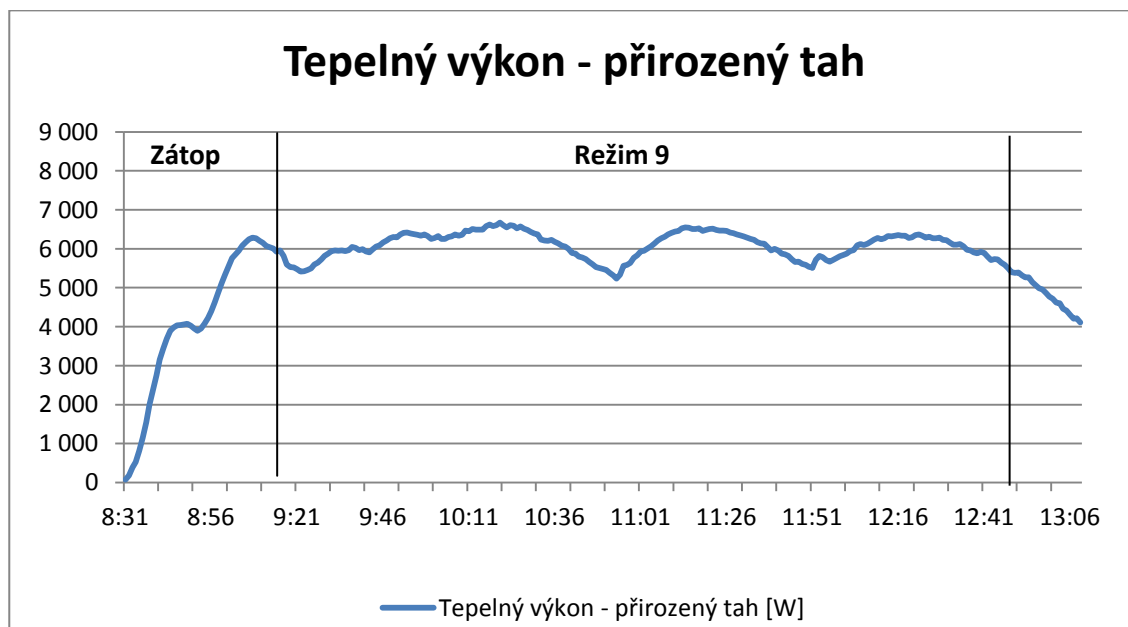
Graf 23 – Teplota spalín při přirozeném tahu

V grafu 23 je vyznačen tah komína při přirozeném tahu. Po ustálení stavu sporáku se průměrná hodnota tahu komína pohybovala okolo 18,5 Pa.



Graf 24- Tah komína při přirozeném tahu

V grafu 25 je vyobrazen tepelný výkon sporáku při přirozeném tahu, předaný do kalorimetrické místnosti během zkoušení. Plocha pod křivkou představuje předanou energii do prostoru.



Graf 25 - Tepelný výkon sporáku při přirozeném tahu

V tabulce 20 jsou uvedeny parametry pro režim 9, které jsem vypočetl dle normy ČSN EN 12815:2002 a změny A1:2005, kapitola A 6. Jedná se o hodnoty, naměřené

v době od 9:15 do 12:50 hod. Dále je zde vypočtena účinnost přímou metodou a tepelný výkon sporáku dle kalorimetrické komory. V této době byl již sporák v ustáleném stavu a palivem byly pouze dřevěné brikety.

Parametr		Jednotka	Režim 9
Čas počátku měření		[hod:min]	9:15
Čas konce měření		[hod:min]	12:50
Palivo		[-]	Brikety EnergoTOP
Spotřeba paliva		[kg/hod]	2,00
Hmotnostní průtok vlhkých spalín		[g/s]	13,4
Tepelný výkon sporáku dle normy ČSN 12815		[kW]	6,67
Tepelný výkon sporáku dle kalorimetrické komory		[kW]	6,08
Příkon sporáku		[kW]	8,96
Účinnost sporáku nepřímou metodou		[%]	72,60
Účinnost sporáku přímou metodou		[%]	67,82
Ztráta citelným teplem spalín		[%]	25,88
Ztráta plynným nedopalem		[%]	1,02
Ztráta mechanický nedopalem		[%]	0,50
Teplota spalín		[°C]	195,8
Tah komína		[Pa]	18,6
Přebytek vzduchu		[-]	4,45
Koncentrace O ₂ v suchých spalínách		[%]	16,0
Referenční obsah O ₂		[%]	13
Emise při O _{2,ref}	CO	[mg/m ³ _N]	1558
	NO ₂	[mg/m ³ _N]	79
	TOC	[mg/m ³ _N]	152
	Prach	[mg/m ³ _N]	47

Tabulka 20 - Výsledná tabulka při přirozeném tahu

5.6 Porovnání výsledků zkoušení při nuceném a přirozeném tahu v kalorimetrické komoře

V tabulce 21 jsou uvedeny základní parametry zkoušení při nuceném tahu (režim 8) a přirozeném tahu (režim 9). Odchylka uvedená v tabulce značí rozdíl mez režimem 9 a režimem 8.

Parametr		Jednotka	Režim 8	Režim 9	Odchylka
Spotřeba paliva		[kg/hod]	1,75	2,00	0,25
Tepelný výkon sporáku dle normy ČSN 12815		[kW]	6,06	6,67	0,61
Tepelný výkon sporáku dle kalorimetrické komory		[kW]	5,75	6,08	0,33
Příkon sporáku		[kW]	7,91	8,96	1,05
Účinnost sporáku nepřímou metodou		[%]	75,68	72,60	-3,08
Účinnost sporáku přímou metodou		[%]	72,70	67,82	-5,12
Teplota spalin		[°C]	187,4	195,8	8,4
Tah komína		[Pa]	11,7	18,6	7,1
Přebytek vzduchu		[-]	4,19	4,45	0,26
Koncentrace O ₂ v suchých spalinách		[%]	16,0	16,0	0
Emise při O _{2 REF}	CO	[mg/m ³ _N]	1071	1558	487
	NO ₂	[mg/m ³ _N]	86	79	- 6
	TOC	[mg/m ³ _N]	85	152	67
	Prach	[mg/m ³ _N]	39	47	8

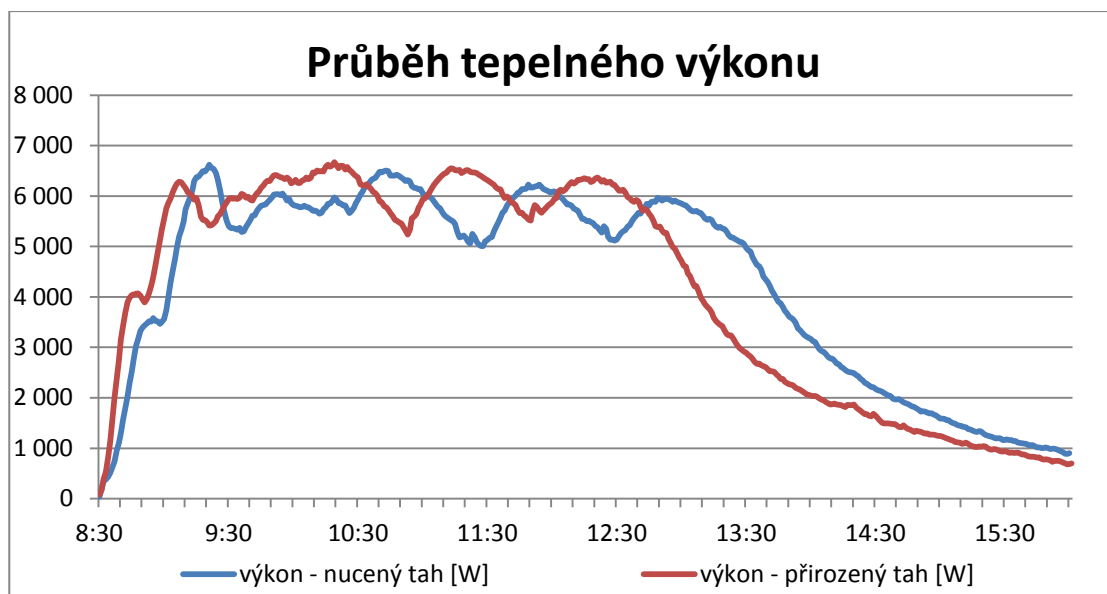
Tabulka 21 – Porovnání základních parametrů

Při provolání nuceného a přirozeného tahu jsem v obou případech vycházel z průměrných vypočtených hodnot, kdy byl již sporák v ustáleném stavu. Pouze u grafu 26 a 27 jsem vycházel od počátku měření (zátop).

V grafu 26 je vyobrazeno porovnání tepelných výkonů při nuceném a přirozeném tahu. Z grafu je patrné, že sporák měl rychlejší nájezd při přirozeném tahu, ale také se zkrátila doba předávání tepelného výkonu do kalorimetrické místnosti, než při nuceném

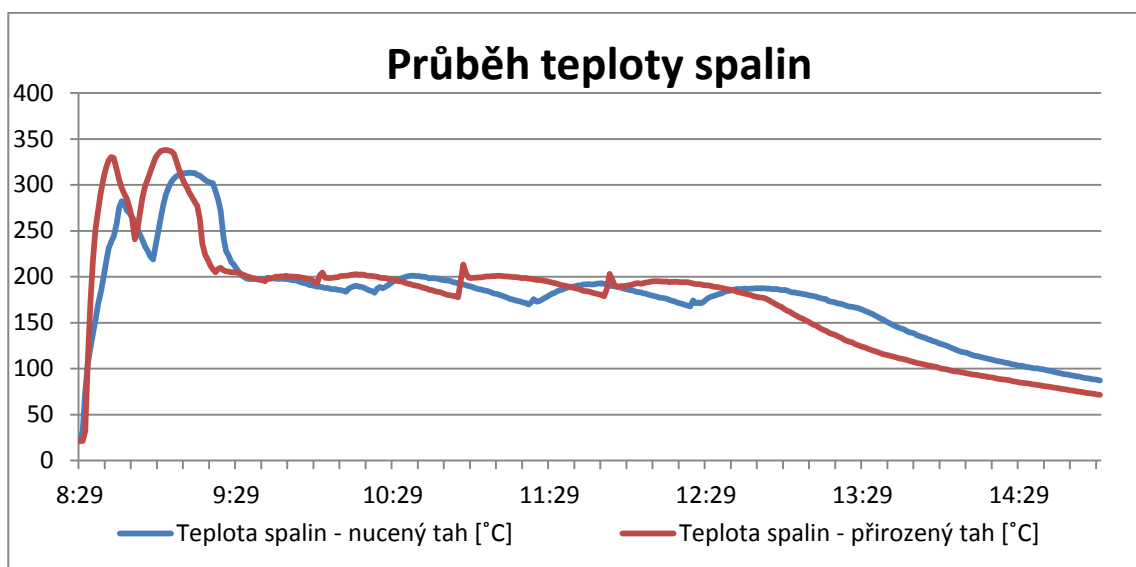
tahu přibližně o půl hodiny. Podobný průběh měla také teplota spalin (strmější nárůst teploty při zátoku, rychlejší pokles teploty spalin na konci zkoušení)

Celkově je pod křivkou tepelného výkonu při přirozeném tahu menší plocha, která představuje předanou energii do prostoru. To znamená, že celková účinnost počítaná přímou metodou při přirozeném tahu byla nižší než při nuceném tahu. Porovnání účinností přímou metodou je vyobrazeno v grafu 28.

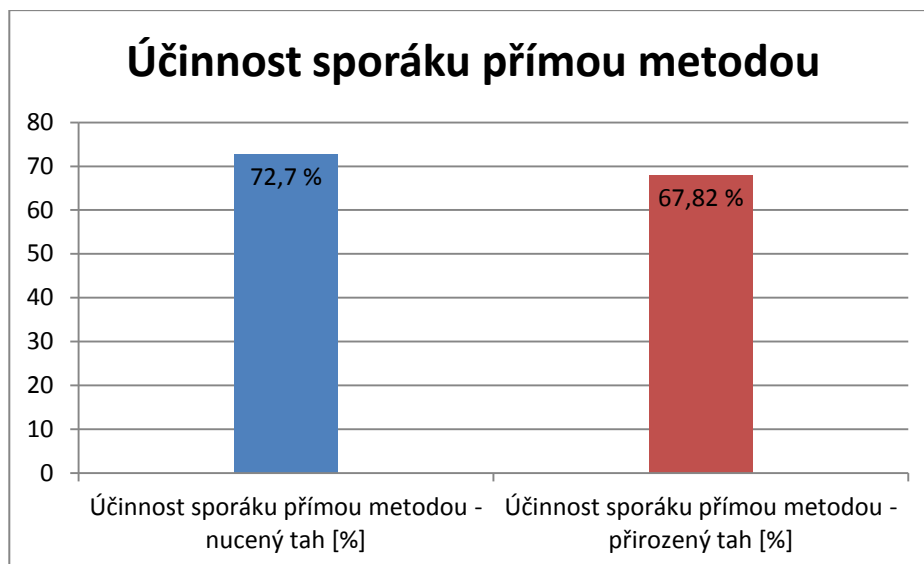


Graf 26 – Průběh tepelného výkonu při nuceném a přirozeném tahu

V grafu 27 je vyobrazen průběh teploty spalin při nuceném a přirozeném tahu.

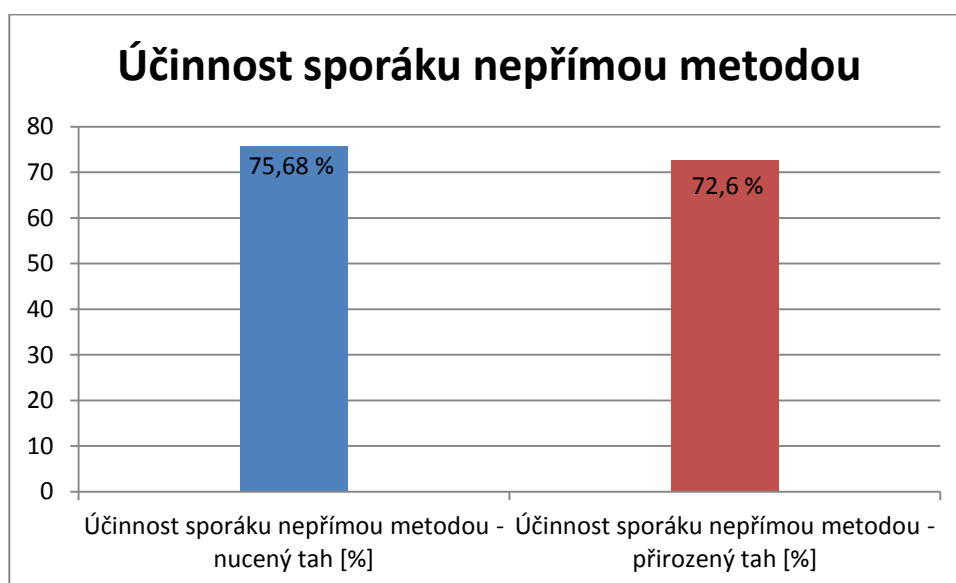


Graf 27 – Průběh teploty spalin při nuceném a přirozeném tahu



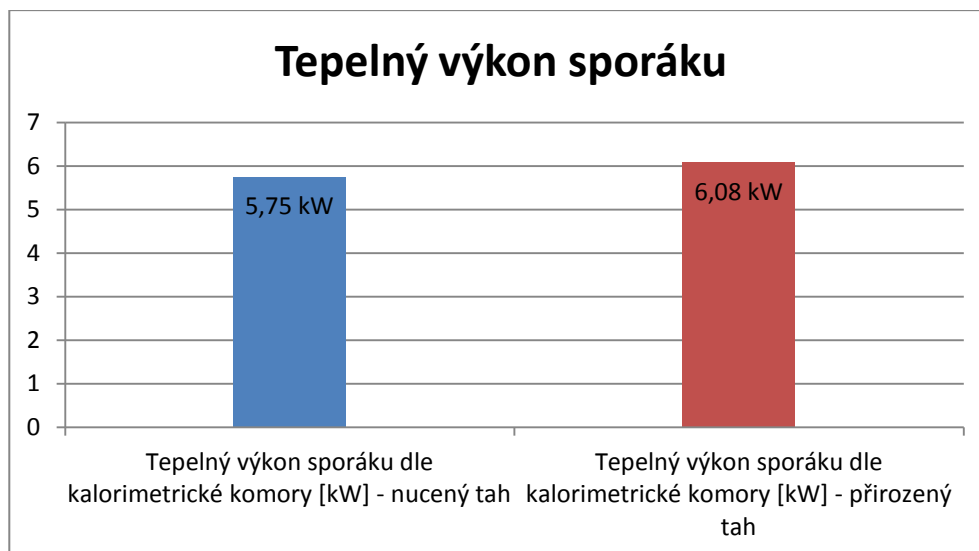
Graf 28 – Porovnání účinností přímou metodou

Při porovnání účinností sporáku nepřímou metodou (Graf 29) jsem vycházel z výpočtu dle normy ČSN 12815 (příkon = výkon + ztráty).

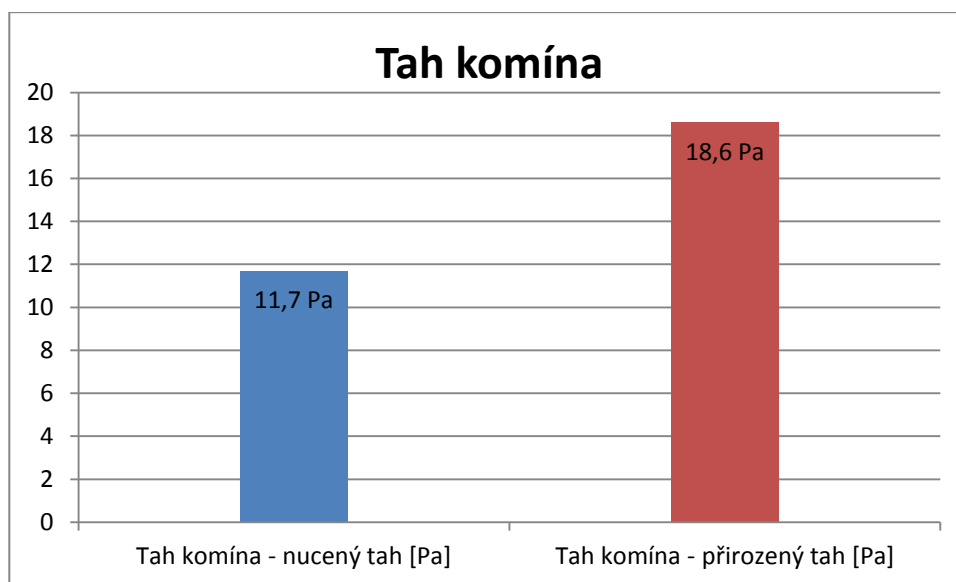


Graf 29 - Porovnání účinností nepřímou metodou

V grafu 29 je porovnání tahu komína při nuceném a přirozeném tahu. Průměrná hodnota při nuceném tahu (udržovaná odtahovým ventilátorem) byla 11,7 Pa. Průměrná hodnota při přirozeném tahu byla o 7 Pa vyšší.

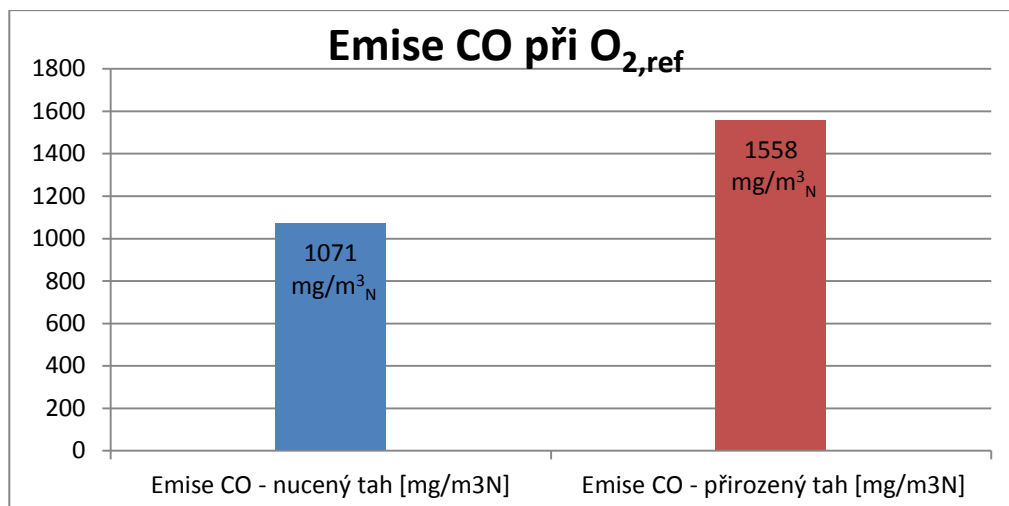


Graf 30 – Porovnání výkonů

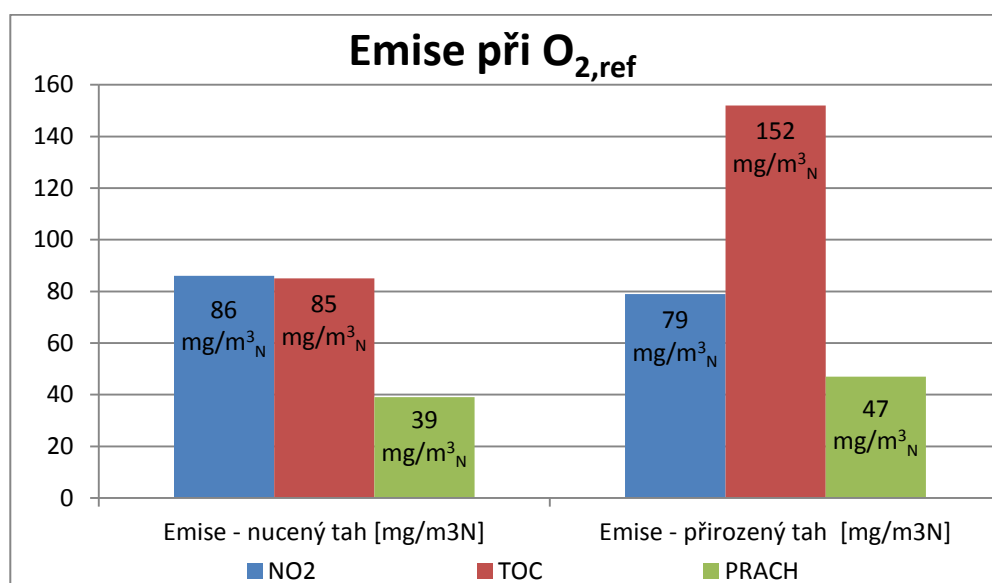


Graf 31 – Porovnání tahů komína

V grafech 32 a 33 je znázorněno porovnání emisí CO, NO₂, TOC a prachu při O_{2,ref}. Z grafů vyplývá, že při zkoušení při přirozeném tahu, vznikaly vyšší emise CO, TOC a prachu, ale nižší emise NO₂.



Graf 32 – Porovnání emisí CO při $O_{2,ref}$



Graf 33 – Porovnání emisí NO_2 , TOC a prachu při $O_{2,ref}$

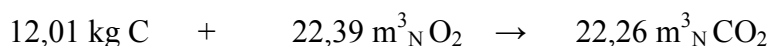
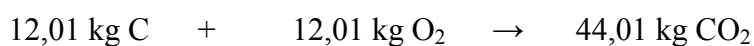
6 Výpočty

6.1 Výpočet statiky spalování

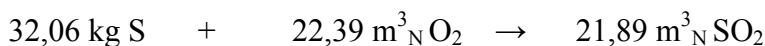
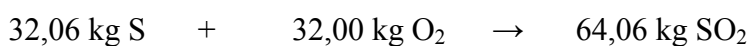
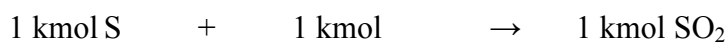
Detailní výpočet statiky spalování jsem provedl pro doporučené palivo, kterým byly brikety BIOMAC ENERGO TOP s výhřevností 16520 kJ/kg. Prvkové složení paliva, potřebné pro výpočet, je uvedeno v tabulce 12. Výpočet jsem provedl pro režim 4.

Spalovací rovnice

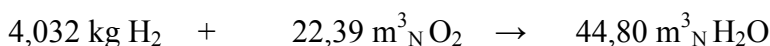
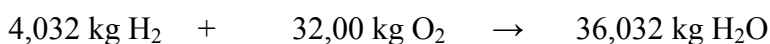
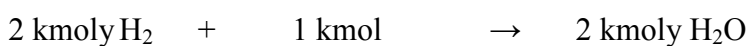
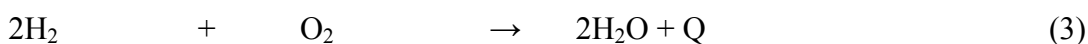
Spalovací reakce uhlíku s kyslíkem



Spalovací reakce síry s kyslíkem



Spalovací reakce vodíku s kyslíkem



Teoretické množství kyslíku pro spálení 1kg paliva

$$V_{O_2} = \frac{22,26}{12,01} \times C^r + \frac{22,39}{4,03} \times H^r + \frac{22,39}{32,06} \times S^r - \frac{22,39}{32} \times O_2^r \quad \left[\frac{m^3_{\text{N}, \text{O}_2}}{\text{kg}_{\text{pal}}} \right] \quad (6)$$

$$V_{O_2} = \frac{22,26}{12,01} \times 0,4514 + \frac{22,39}{4,03} \times 0,0569 + \frac{22,39}{32,06} \times 0,0003 - \frac{22,39}{32} \times 0,3845 = 0,889 \frac{m^3_{N,O_2}}{kg_{pal}}$$

Teoretické množství suchého vzduchu pro spálení 1kg paliva

$$V_{vz,t}^S = \frac{1}{0,21} \times V_{O_2,t} \left[\frac{m^3_{N,vz}}{kg_{pal}} \right] \quad (7)$$

$$V_{vz,t}^S = \frac{1}{0,21} \times 0,889 = 4,236 \frac{m^3_{N,vz}}{kg_{pal}}$$

Teoretické množství vlhkého vzduchu pro spálení 1kg paliva

$$V_{vz,t}^V = \nu \times V_{vz,t}^S \left[\frac{m^3_{N,vz}}{kg_{pal}} \right] \quad (8)$$

kde:

ν - poměrné zvětšení objemu vlhkého vzduchu oproti suchému vzduchu [1]

V našich klimatických podmínkách je tato hodnota zanedbatelná a proto je množství suchého vzduchu a vlhkého vzduch stejné.

$$V_{vz,t}^V = 1 \times 4,236 = 4,236 \frac{m^3_{N,vz}}{kg_{pal}}$$

Přebytek vzduchu

Přebytek vzduchu se vypočte z koncentrace kyslíku ve spalínách. Potřebná hodnota kyslíku byla vzata z režimu 4.

$$n = \frac{21}{21 - O_{2,spalin}} \quad [1] \quad (9)$$

$$n = \frac{21}{21 - 15} = 3,49$$

Množství vzniklých teoretických suchých spalin

$$V_{sp,t}^S = \frac{22,26}{12,01} \times C^r + \frac{21,89}{32,06} \times S^r + \frac{22,40}{28} \times N^r + 0,79 \times V_{vz,t}^S \left[\frac{m_{N,sp}^3}{kg_{pal}} \right] \quad (10)$$

$$V_{sp,t}^S = \frac{22,26}{12,01} \times 0,4514 + \frac{21,89}{32,06} \times 0,0003 + \frac{22,40}{28} \times 0,0012 + 0,79 \times 4,236 = 4,182 \frac{m_{N,sp}^3}{kg_{pal}}$$

Množství vzniklých suchých spalin

$$V_{sp}^S = V_{sp,t}^S + (n-1) \times V_{vz,t}^S \left[\frac{m_{N,sp}^3}{kg_{pal}} \right] \quad (11)$$

$$V_{sp}^S = 4,182 + (3,49-1) \times 4,236 = 14,721 \frac{m_{N,sp}^3}{kg_{pal}}$$

Množství vody ve spalinách

$$V_{H_2O} = \frac{44,80}{4,032} \times H^r + \frac{22,40}{18} \times W^r \left[\frac{m_{H_2O}^3}{kg_{pal}} \right] \quad (12)$$

$$V_{H_2O} = \frac{44,80}{4,032} \times 0,0569 + \frac{22,40}{18} \times 0,10 = 0,757 \frac{m_{H_2O}^3}{kg_{pal}}$$

Množství vzniklých teoretických vlhkých spalin

$$V_{sp,t}^V = V_{sp,t}^S + V_{H_2O} \left[\frac{m_{N,sp}^3}{kg_{pal}} \right] \quad (13)$$

$$V_{sp,t}^V = 4,182 + 0,757 = 4,939 \frac{m_{N,sp}^3}{kg_{pal}}$$

Množství vzniklých vlhkých spalin

$$V_{sp,sk}^V = V_{sp,t}^V + (n-1) \times V_{vz,t}^V = V_{vz,t}^V \left[\frac{m_{N,sp}^3}{kg_{pal}} \right] \quad (14)$$

$$V_{sp,sk}^V = 4,939 + (3,49-1) \times 4,236 = 15,487 \frac{m_{N,sp}^3}{kg_{pal}}$$

6.2 Detailní výpočet dle normy ČSN EN 12 815

Potřebné hodnoty pro výsledné výpočty byly vzaty jako průměrné hodnoty z druhého dne zkoušení (19. 2. 2016) v době 11:32 – 12:40 hod. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 22. Tento výpočet byl brán jako reprezentativní a vztahuje se na režim 4.

Výhřevnost paliva	$Q_i^r = 16520 \text{ kJ/kg}$
Hmotnostní podíl uhlíku	$C = 45,14 \%$
Hmotnostní podíl vodíku	$H = 5,69 \%$
Hmotnostní podíl vody	$W = 10,00 \%$
Teplota spalin	$t_a = 164,20 \text{ }^\circ\text{C}$
Koncentrace CO_2	$\text{CO}_2 = 5,80 \%$
Koncentrace O_2	$\text{O}_{2\text{avg}} = 15,00 \%$
Průměrná koncentrace CO	$\text{CO}_{\text{mer}} = 624 \text{ ppm}$
Přebytek vzduchu	$n = 3,49$
Referenční obsah O_2	$\text{O}_{2,\text{ref}} = 13 \%$
Teplota v místnosti	$t_r = 23,60 \text{ }^\circ\text{C}$
Délka zkoušky	$h_a = 1,13 \text{ hod}$
Hmotnostní tok zkušební paliva	$B = 1,54 \text{ kg/hod}$

Tabulka 22 – hodnoty vstupních parametrů

Výpočet:

Střední měrná tepelná kapacita suchých spalin při srovnávacích podmínkách

$$c_{pmd} = 3,6 \times \left[0,361 + 0,008 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right) + 0,034 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 + \right. \\ \left. + \left(0,085 + 0,19 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right) - 0,14 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right) \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{\text{CO}_2}{100} \right) + \left(0,3 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right) - 0,2 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right) \times \left(\frac{\text{CO}_2}{100} \right)^2 \right] \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \right] \quad (15)$$

$$c_{pmd} = 3,6 \times \left[\begin{aligned} &0,361 + 0,008 \times \left(\frac{164,2}{1000} \right) + 0,034 \times \left(\frac{164,2}{1000} \right)^2 + \\ &\left(0,085 + 0,19 \times \left(\frac{164,2}{1000} \right) - 0,14 \times \left(\frac{164,2}{1000} \right)^2 \right) \times \\ &\times \left(\frac{5,8}{100} \right) + \left(0,3 \times \left(\frac{164,2}{1000} \right) - 0,2 \times \left(\frac{164,2}{1000} \right)^2 \right) \times \left(\frac{5,8}{100} \right)^2 \end{aligned} \right] = 1,3317 \frac{kJ}{kg \times K}$$

Střední měrná tepelná kapacita vodní páry

$$c_{pmH_2O} = 3,6 \times \left[0,414 + 0,038 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right) + 0,034 \times \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right] \left[\frac{kJ}{kg \times K} \right] \quad (16)$$

$$c_{pmH_2O} = 3,6 \times \left[0,414 + 0,038 \times \left(\frac{164,2}{1000} \right) + 0,034 \times \left(\frac{164,2}{1000} \right)^2 \right] = 1,516 \frac{kJ}{kg \times K}$$

Redukovaný hmotnostní podíl uhlíku

$$C_r = \frac{100}{335 \times Q_i^r \times q_r} \quad [\%] \quad (17)$$

$$C_r = \frac{100}{335 \times 16520 \times 0,5} = 3,6 \times 10^{-5} \%$$

Koncentrace CO

Koncentrace CO se vypočte jako průměrná hodnota oxidu uhelnatého ($CO_{prům}$) ze všech údajů CO získaných z odečtů na přístrojích v průběhu doby zkoušení. Hodnota $CO_{měř}$ se musí přepočítat z koncentrace v jednotkách ppm (parts per milion - jedna miliontina celku) na koncentraci v %.

$$CO_{prům} = CO_{měř} \times \rho_{CO} \quad \left[\frac{mg}{m^3_N} \right] \quad (18)$$

$$CO = \frac{CO_{prům}}{1,25 \times 10000} \quad [\%] \quad (19)$$

$$CO_{prům} = 624,28 \times 1,25 = 780,36 \frac{mg}{m^3_N}$$

$$CO = \frac{780,36}{1,25 \times 10000} = 0,06 \%$$

Poměrné ztráty citelným teplem spalin

$$Q_a = (t_a - t_r) \times \left[\left(\frac{C_{pmd} \times (C - C_r)}{0,536 \times (CO + CO_2)} \right) + \left(c_{pmH_2O} \times \frac{22,4}{18} \times \frac{(9 \times H) + W}{100} \right) \right] \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (20)$$

$$q_a = 100 \times \frac{Q_a}{Q_i^r} \quad [\%] \quad (21)$$

$$Q_a = (164,2 - 23,6) \times \left[\left(\frac{1,3317 \times (45,14 - 3,6 \times 10^{-5})}{0,536 \times (0,06 + 5,8)} \right) + \left(1,516 \times \frac{22,4}{18} \times \frac{(9 \times 5,69) + 10}{100} \right) \right]$$

$$Q_a = 2849,38 \frac{kJ}{kg}$$

$$q_a = 100 \times \frac{2849,38}{16520} = 17,25 \%$$

Poměrné ztráty plýnným nedopalem

$$Q_b = \frac{12644 \times CO \times (C - C_r)}{[0,536 \times (CO_2 + CO) \times 100]} \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad (22)$$

$$q_b = 100 \times \frac{Q_b}{Q_i^r} \quad [\%] \quad (23)$$

$$Q_b = \frac{12644 \times 0,06 \times (45,14 - 3,6 \times 10^{-5})}{[0,536 \times (5,8 + 0,06) \times 100]} = 174,76 \frac{kJ}{kg}$$

$$q_b = 100 \times \frac{174,76}{16520} = 0,69 \%$$

Poměrné ztráty mechanickým nedopalem

Jelikož zkušební palivem jsou dřevěné brikety, nezjišťuje se obsah uhlíku v pevných zbytcích spalování a ztráta mechanickým nedopalem v tuhých zbytcích je dle normy 0,5 % bodu účinnosti. Proto platí:

$$q_r = 0,5 \%$$

Stanovení účinnosti

Celková účinnost se stanoví z vypočtených hodnot poměrných ztrát.

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r) \quad [\%] \quad (24)$$

$$\eta = 100 - (17,25 + 0,69 + 0,5) = 81,57 \%$$

Celkový tepelný výkon

Celkový tepelný výkon se vypočítá z hmotnostního toku paliva spáleného za hodinu, výhřevnosti paliva a účinnosti varného spotřebiče.

$$P = \frac{\eta \times B \times Q_i^r}{100 \times 3600} \quad [kW] \quad (25)$$

$$P = \frac{81,57 \times 1,54 \times 16520}{100 \times 3600} = 5,78 \quad kW$$

Hmotnostní průtok vlhkých spalín

$$\dot{m} = \frac{\frac{B \times 1,3 \times (C - C_r)}{0,536 \times (CO_2 + CO)} + \frac{(9 \times H) + W}{100}}{3,6} \quad \left[\frac{g}{s} \right] \quad (26)$$

$$\dot{m} = \frac{\frac{1,54 \times 1,3 \times (45,14 - 3,6 \times 10^{-5})}{0,536 \times (5,8 + 0,06)} + \frac{(9 \times 5,69) + 10}{100}}{3,6} = 8,14 \quad \frac{g}{s}$$

Příkon varného spotřebiče

Příkon se vypočítá jako výkon podělený účinností varného spotřebiče nebo z množství paliva spáleného za určitý čas.

$$P_{PŘ} = \frac{P}{\eta} \quad [kW] \quad (27)$$

$$P_{PŘ} = \frac{B \times Q_i^r}{h_a} \quad [kW] \quad (28)$$

$$P_{PŘ} = \frac{5,78}{0,8157} = 7,09 \quad kW$$

$$P_{P\dot{R}} = \frac{1,75 \times 16520}{1,13 \times 3600} = 7,11 \text{ kW}$$

Výpočet koncentrace prachu

Pro výpočet koncentrace prachu (TZL) ve spalínách byla použita odběrová aparatura WÖHLER SM 96 (Obr. 21). Vzorek spalín byl odebírán z kouřovodu odběrovou sondou, procházející přes chladič a vytápěný zachycovač, ve kterém je umístěna vyhřívaná filtrační patrona. Filtrační patrona slouží k zachycení tuhých částic a vzorek plynu se odebíral uprostřed průřezu kouřovodu.

Koncentrace prachu je stanovena jako podíl hmotnosti zachycených tuhých látek na filtrační patroně k objemu odsátého suchého plynu při normálních stavových podmínkách ($T_N = 273,15 \text{ K}$, $p_N = 101,325 \text{ kPa}$). Před stanovením koncentrace prachu je nutno nejdříve filtrační patronu vysušit a následně zvážit, aby byla zjištěna hmotnost navážky.

Pro stanovení koncentrace prachu, je důležité vypočítat průměrný obsah kyslíku ($O_{2,\text{prům}}$) obsažený ve spalínách během 30 - ti minutového odběru. V tabulce 23 jsou uvedeny potřebné hodnoty pro zjištění koncentrace prachu.

Odebraný objem suchých spalín	$\dot{V} = 0,2709 \text{ m}^3_N$
Navážka	$r = 3,39 \text{ mg}$
Koncentrace O_2 (30 min)	$O_{2,\text{prům}} = 13,79 \%$

Tabulka 23 – Hodnoty pro zjištění koncentrace prachu

$$TZL_{avg} = \frac{r}{\dot{V}} \left[\frac{mg}{m^3_N} \right] \quad (29)$$

$$TZL = TZL_{avg} \times \frac{21 - O_{2,ref}}{21 - O_{2,prům}} \left[\frac{mg}{m^3_N} \right] \quad (30)$$

$$TZL_{avg} = \frac{3,39}{0,2709} = 12,51 \frac{mg}{m^3_N}$$

$$TZL = 12,51 \times \frac{21 - 13}{21 - 13,79} = 13,88 \frac{mg}{m^3_N}$$

Výpočet koncentrace emisí TOC, CO a NO_x při $O_{2,ref}$

Pro koncentraci TOC ve spalínách bylo potřeba nejprve vypočítat obsah vody ve spalínách (H_2O). Potřebné hodnoty pro tento výpočet byly vzaty z mých výpočtů statiky

spalování. Protože při kalibraci analyzátoru spalin byl použit plyn propan, při výpočtu se počítalo s hustotou TOC uvedenou v tabulce 24. Emise NO_x jsem přepočítal na emise NO_2 .

Skutečné množství suchých spalin	$V_{sp}^V = 14,721 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{kg}_{\text{pal}}$
Skutečné množství vlhkých spalin	$V_{sp}^S = 15,487 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{kg}_{\text{pal}}$
Měřená koncentrace C_3H_8 ve vlhkých spalinách	$\text{TOC}_{\text{mer}} = 21 \text{ ppm}$
Hustota TOC při kalibraci propanem	$\rho_{\text{TOC}} = 1,61 \text{ kg}/\text{m}^3$
Koncentrace CO	$\text{CO}_{\text{mer}} = 624 \text{ ppm}$
Koncentrace NO_2	$\text{NO}_{x,\text{mer}} = 25,8 \text{ ppm}$
Hustota NO_2	$\rho_{\text{NO}_2} = 2,05 \text{ kg}/\text{m}^3$
Hustota CO	$\rho_{\text{CO}} = 1,25 \text{ kg}/\text{m}^3$

Tabulka 24 - Hodnoty pro zjištění koncentrace TOC, CO a NO_x

$$H_2O = \frac{V_{sp}^V - V_{sp}^S}{V_{sp}^V} \quad [1] \quad (31)$$

$$Y_{\text{mer}} = \frac{X}{1 - H_2O} \quad [ppm] \quad (32)$$

$$Y_{\text{prum}} = Y_{\text{mer}} \times \rho_Y \quad \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right] \quad (33)$$

$$Y = Y_{\text{prum}} \times \frac{21 - O_{2,\text{ref}}}{21 - O_{2,\text{avg}}} \quad \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3} \right] \quad (34)$$

$$H_2O = \frac{15,487 - 14,721}{15,487} = 0,0495$$

$$\text{TOC}_{\text{mer}} = \frac{21}{1 - 0,0495} = 22,09 \text{ ppm}$$

$$\text{TOC}_{\text{prum}} = 22,09 \times 1,61 = 35,57 \frac{\text{mg}}{\text{m}_N^3}$$

$$TOC = 42,343 \times \frac{21-13}{21-15} = 47,4 \frac{mg}{m_N^3}$$

$$CO_{prum} = 624,28 \times 1,25 = 780,35 \frac{mg}{m_N^3}$$

$$CO = 780,35 \times \frac{21-13}{21-15} = 1040 \frac{mg}{m_N^3}$$

$$NO_{2,prum} = 25,8 \times 2,05 = 52,8 \frac{mg}{m_N^3}$$

$$NO_2 = 52,8 \times \frac{21-13}{21-15} = 70,26 \frac{mg}{m_N^3}$$

Výpočet koncentrace emisí CO, NO_x, TOC a prachu dle rakouské dohody 15a B-VG

Spotřebiče uváděné na rakouský trh, musí předložit hodnoty emisí uvedené v jednotkách mg/MJ. Hodnoty pro tento přepočet jsou uvedeny v tabulce 25.

Skutečné množství vlhkých spalín	$V_{sp}^S = 15,487 \text{ m}^3_N / \text{kg}$
Výhřevnost paliva	$Q_i^r = 16520 \text{ kJ/kg}$
Koncentrace CO	$CO_{prum} = 780,35 \text{ mg/ m}^3_N$
Koncentrace NO₂	$NO_{x,prum} = 52,8 \text{ mg/m}^3_N$
Koncentrace TOC	$TOC_{prum} = 35,57 \text{ mg/ m}^3_N$
Koncentrace prachu	$prach_{prum} = 12,51 \text{ mg/ m}^3_N$
Skutečné množství vlhkých spalín	$V_{sp}^S = 15,487 \text{ mg/ m}^3_N$

Tabulka 25 – Hodnoty pro výpočet emisí dle rakouské dohody 15a B-VG

$$X = \frac{Q_i^r}{V_{sp,sk}^V} \quad \left[\frac{MJ}{m_N^3} \right] \quad (35)$$

$$Z_{rak} = \frac{X_{prum}}{X} \quad \left[\frac{mg}{MJ} \right] \quad (36)$$

$$X = \frac{Q_i^r}{V_{sp,sk}^V} = \frac{16,52}{15,487} = 1,067 \frac{MJ}{m_N^3}$$

$$CO_{rak} = \frac{780,35}{1,067} = 731 \frac{mg}{MJ}$$

$$NO_{2,rak} = \frac{52,8}{1,067} = 49 \frac{mg}{MJ}$$

$$TOC_{rak} = \frac{35,57}{1,067} = 33 \frac{mg}{MJ}$$

$$prach_{rak} = \frac{12,51}{1,067} = 12 \frac{mg}{MJ}$$

Výpočet sezónní energetické účinnosti

Výpočet sezónní energetické účinnosti je potřebný pro porovnání parametrů pro Ekodesign a vypočte se:

$$\eta_s = \eta_{s,on} - 10 + F(2) + F(3) - F(4) - F(5) \quad [\%] \quad (37)$$

Kde:

$\eta_{s,on}$ je sezónní energetická účinnost $[\%]$

$F(2) - F(4)$ jsou korekční faktory v procentech, které zohledňují kladný příspěvek k sezónní energetické účinnosti vytápění např. regulací tepelné pohody, spotřeba pomocné elektrické energie nebo spotřeba trvale hořícího zapalovacího hořáku. $[\%]$

Protože sporák není vybaven žádnou pomocnou elektrickou regulací nebo plynovým hořákem, jsou všechny korekční faktory rovny nule. Sezónní energetická účinnost je rovna účinnosti z výpočtu dle normy ČSN 12815.

$$\eta_s = 81,57 - 10 + 0 + 0 - 0 - 0 = 71,57 \%$$

Výpočet účinnosti přímou metodou

Potřebné hodnoty pro výpočet účinnosti přímou metodou byly vzaty jako průměrné hodnoty režimu 8, při zkouškách v kalorimetrické komoře.

Tepelný výkon sporáku dle kalorimetrické komory	$P_{\text{prům}} = 5,75 \text{ kW}$
Výhřevnost paliva	$Q_i^r = 16520 \text{ kJ/kg}$
Délka zkoušky	$h = 4,06 \text{ hod}$
Hmotnostní tok paliva	$B = 7 \text{ kg}$

Tabulka 26 – Hodnoty pro výpočet účinnosti přímou metodou

$$P_{P\check{R}} = \frac{B \times Q_i^r}{h_a} \quad [kW] \quad (27)$$

$$\eta = \frac{P}{P_{P\check{R}}} \times 100 \quad [\%] \quad (38)$$

$$P_{P\check{R}} = \frac{7 \times 165200}{4,06 \times 3600} = 7,91 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{5,75}{7,91} \times 100 = 72,8 \%$$

7 Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval testováním varného spotřebiče, kterým byl prototyp sporáku VSP od firmy KVS MORAVIA. Protože ke sporáku nebyl dodán výrobní štítek, neměl jsem prakticky o tomto zařízení žádné informace. Jediné, s čím jsem byl srozuměn, bylo doporučené palivo a jeho množství na jednu dávku.

Na úvod práce jsem zmínil popis spalování dřeva v ohništi malého výkonu a typy používaných lokálních spotřebičů. Dále jsem popsal metodické přístupy k testování těchto spotřebičů a legislativní požadavky, které jsou na tyto spotřebiče kladeny nejen v České republice, ale také například v Německu nebo Rakousku, kde jsou jedny z nejprísnejších vyhlášek v Evropě.

V experimentální části diplomové práce, jsem se nejprve zabýval popisem topeniště, odvodem spalin a možnostmi (nastavení) regulace při provozu sporáku. Poté jsem navrhl a připravil experimentální stanoviště dle normy ČSN EN 12815:2002 a změny A1:2005, které se následně použilo pro testování sporáku. V příloze k mé diplomové práci je sestavný výkres stanoviště včetně sporáku (BOR 0064 – 1A) a výrobní výkres roštu (BOR 0064 – 1B).

Hlavní náplní mé diplomové práce bylo ověření sporáku ve zkušebně spalovacích zařízení Výzkumného energetického centra. Nejprve byl sporák podroben zkouškám provozních vlastností při jmenovitém tepelném výkonu dle normy ČSN 12815:2002 a změny A1:2005. Zkoušení probíhalo tři dny, při kterých se vyzkoušely dva druhy paliv. Jednalo se o dřevěné brikety, které byly doporučeným palivem od výrobce sporáku a bukové dřevo, které bylo použito především pro porovnání chování sporáku s jiným, než doporučeným palivem. První den jsem zjišťoval optimální nastavení sporáku, které by bylo možné použít pro zbylé dny testování. Vyzkoušel jsem celkem tři režimy, ze kterých jsem zvolil jako ideální dávku paliva 1,75 kg a nastavení přívodu primárního vzduchu různě při otevření na jednu polovinu. Jednalo se o nastavení, kdy sporák vykazoval nejvyšší účinnost a nejnižší naměřené hodnoty emisí oxidu uhelnatého, uhlovodíků a prachu. Druhý den zkoušení probíhal s použitím dřevěných briket. Celkem jsem provedl dvě platné zkoušky, při kterých sporák vykazoval vysokou účinnost a poměrně nízké hodnoty emisí oxidu uhelnatého, oxidu dusičitého, uhlovodíků a prachu. Výsledky jsem následně vyhodnotil ve vztahu k platné legislativě. Při obou zkouškách sporák splnil veškeré limity, požadavky a vyhlášky, nutné k certifikaci zařízení. Třetí den zkoušení jsem pro testování sporáku použil suché bukové dříví. I zde jsem provedl celkem dvě platné zkoušky. Při obou

zkouškách sporák vykazoval prokazatelně vyšší hodnoty emisí, a to především oxidu uhelnatého, uhlovodíků a prachu. Při vyhodnocení výsledků sporák splnil pouze technické požadavky normy ČSN 12815:2002 a změny A1:2005. U ostatních vyhlášek a požadavků, byly emisní limity překročeny až trojnásobně (Rakousko, Německo). Z těchto důvodů tedy nelze doporučit provozování sporáku VSP s použitím bukového dřeva.

Druhé ověření sporáku proběhlo v kalorimetrické komoře, ve které se porovnával průběh tepelného výkonu sporáku při nuceném a následně při přirozeném tahu. Zkoušení probíhalo dva dny, při kterých měl sporák stejné nastavení, a byl použit stejný druh paliva (dřevěné brikety). První den se jednalo o zkoušení průběhu tepelného výkonu při nuceném tahu, který byl udržován odtahovým ventilátorem na hodnotě 12 Pa. Jednalo se o simulaci ideálních podmínek při provozování. Druhý den proběhlo zkoušení průběhu tepelného výkonu při přirozeném tahu. Aby byl dodržen přirozený tah a nasimulovaly se skutečné podmínky provozu, nastavil jsem digestoř tak, aby odsávání spalin neovlivňovalo tah komínu. V mém případě to bylo přibližně 20 cm od kouřovodu. Průměrná hodnota tahu komína byla 18,6 Pa. U zkoušení při přirozeném tahu měl sporák rychlejší nájezd, ale také se zkrátila doba předávání tepelného výkonu do kalorimetrické komory přibližně o půl hodiny, než při zkoušení s nuceným tahem. U přirozeného tahu byl naměřen mírně vyšší výkon, větší teplota spalin a nižší účinnost. Při nuceném tahu byly naměřeny mírně nižší hodnoty emisí u oxidu uhelnatého, uhlovodíků a prachu.

8 Přílohy

BOR 0064 – 1A Sestavný výkres stanoviště včetně varného spotřebiče

BOR 0064 – 1B Výrobní výkres roštu

Příloha č. 1 CD-ROM obsahující:

- tabulka naměřených a vypočtených hodnot při zkouškách provozních vlastností při jmenovitém výkonu (Microsoft Excel 2007),
- tabulka naměřených a vypočtených hodnot při zkouškách varného spotřebiče v kalorimetrické komoře (Microsoft Excel 2007),
- výrobní výkres roštu (AutoCAD 2015),
- sestavný výkres stanoviště včetně varného spotřebiče (Autodesk Inventor Profesional 2014).

9 Použitá literatura

- [1] ČSN EN 12815:2002. Varné spotřebiče pro domácnost na pevná paliva – Požadavky a zkušební metody.
- [2] KUBESA, P., HORÁK, J., HOPAN, F., KRPEC, K., MARTINÍK, L. Metodický přístup k testování krbových kamen v ČR a v zahraničí In: TZB-info [online], publikováno 23. 12. 2013 [cit. 20. 3,2016], dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/10723-metodicky-pristup-k-testovani-krbovych-kamen-v-cr-a-v-zahranici-1-cast>
- [3] NS 3058. Enclosed wood heaters. Part 1: Test facility and heating pattern, Part 2:Determination of particulate emission, Part 3: Determination of organic micro contaminations (PAH), Part 4: Determination of the content of carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO₂) in flue gas.
- [4] NS 3059 Enclosed wood heaters. Smoke emission requirements.
- [5] Method 28) Certification and auditing of wood heaters
- [6] Method 5G) Determination of particulate matter emissions from wood heaters (dilution tunnel sampling location)
- [7] Method 5H) Determination of particulate matter emissions from wood heaters from a stack location
- [8] KUBESA, P., HORÁK, J., HOPAN, F., KRPEC, K., MARTINÍK, L. Metodický přístup k testování krbových kamen v ČR a v zahraničí – 2. část In: TZB-info [online], publikováno 13. 1. 2013 [cit. 20. 3,2016], dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/10767-metodicky-pristup-k-testovani-krbovych-kamen-v-cr-a-v-zahranici-2-cast>
- [9] AS/NZS 4013 - 2014 – Domestic solid fuel burning appliances – Method for determination of flue gas emission
- [10] AS/NZ 4012:1999 – Domestic solid fuel burning appliances – Method for determination of power output and efficiency
- [11] STUPAVSKÝ, V. Směrnice o Ekodesignu pro kotle a kamna na tuhá paliva In: TZB-info [online], publikováno 6. 11. 2013 [cit. 20. 3,2016], dostupné z <http://vytapani.tzb-info.cz/kotlikove-dotace/11937-smernice-o-ekodesignu-pro-kotle-a-kamna-na-tuha-paliva>

- [12] NOSKIEVIČ, P., PILCH, R.: Spalování dřeva v malém ohništi. Ostrava: VŠB - TU Ostrava Výzkumné energetické centrum a ROMOTOP, s.r.o., 2008. 80 s., ISBN 978-80-248-1889-4
- [13] zamekpruhonice.cz [online]. [cit. 11. 5. 2016]. Dostupný z: <http://www.zamekpruhonice.cz/pruhonicky-zamek/jednotlive-mistnosti/>
- [14] VLK, V.: Kachlová kamna – vytápění chat, chalup a venkovských domku, druhé rozšířené vydání, Gruda Publishing, spol. s.r.o. 2002, s. 140, ISBN 80-247-0308-4
- [15] KRBY & KAMNA FORTELL S.R.O. krby-fortell.cz [online]. [cit. 11. 2. 2016]. Dostupný z: <http://www.krby-fortell.cz/krbova-kamna-hark-98>
- [16] HORÁK, J., MARTINÍK, L., KRPEC, K., KUBESA, P., DVOŘÁK, J., HOPAN, F., JANKOVSKÁ, Z., DRASTICHOVÁ, V. Jaké parametry musí splnit kamna, krbové vložky a sporáky? Legislativa v ČR a Evropě In: TZB-info [online], publikováno 3. 6. 2013 [cit. 20. 3. 2016], dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/9983-jake-parametry-musi-splnit-kamna-krbove-vlozky-a-sporaky-legislativa-v-cr-a-evrope>
- [17] 1.BImSchB. Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und Millere Feuerungsanlagen). 2010.
- [18] KUBESA, PETR. Kalorimetrická komora [online]. [cit. 11. 5. 2016]. Dostupný z WWW: <http://vec.vsb.cz/cz/zkusebna/kalorimetricka-komora.html>
- [19] Vereinbarung gemäss Art. 15a B-VG über das Inverkehrbringen von Kleinefeuerungen und die Überprüfung von Feuerungsanlagen und Blocheizkraftwerken. 2011.
- [20] ČSN EN 13240:2002. Spotřebiče na pevná paliva k vytápění obytných prostorů – Požadavky a zkušební metody.
- [21] ČSN EN 13229:2002. Vestavené spotřebiče k vytápění a krbové vložky na pevná paliva – Požadavky a zkušební metody.
- [22] ČSN EN 15250:2007. Akumulační kamna na pevná paliva – Požadavky a zkušební metody.
- [23] ČSN EN 14785:2007. Spotřebiče spalující dřevěné pelety k vytápění obytných prostorů – Požadavky a zkušební metody.
- [24] ČSN 734231. Kamna – Individuálně stavěná kachlová kamna.

- [25] ČSN 734232. Sporáky – Individuálně stavěné sporáky.
- [26] Sbírka zákonů č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší. Zákon ze dne 2. Května 2012.
- [27] EDILKAMIN. TEPLOVZDUŠNÁ PELETOVÁ KAMNA [online]. [cit. 11. 5. 2016]. Dostupný z WWW: <http://www.eedilkamin.cz/kamna-na-peletky.htm>
- [28] FORTELL. Kachlová kamna [online]. [cit. 11. 5. 2016]. Dostupný z WWW: <http://www.krby-fortell.cz/kachlova-kamna>
- [29] BH KAMNÁŘSTVÍ. Kachlový sporák [online]. [cit. 11. 5. 2016]. Dostupný z WWW: <http://www.bhkamna.cz/realizace/pece-na-chleba.html>
- [30] KVS EKODIVIZE. Sporák na pevná paliva [online]. [cit. 11. 5. 2016]. Dostupný z WWW: <http://www.kvs-moravia.cz/cz/produkty/1-sporak-na-pevna-paliva-s-troubou-typ-9112.html>
- [31] HORÁK, J. Spalování tuhých paliv [online]. [cit. 11. 5. 2016]. Dostupný z WWW: http://vec.vsb.cz/userfiles/pdf/Zaklady-spalovani-2011_3.pdf
- [32] ČSN 734230. Krby – Krby s otevřeným a uzavřeným ohništěm